

88-90, 93

自控钻进中的优化钻进原理

p634.5

刘宝林 桂暖银

(中国地质大学·北京·100083)

对自控钻进中的2种比较实用先进的优化钻进原理进行了分析探讨。根据钻孔深度的不同,将钻柱—孔壁环节作为主要影响因素,从能量传递效果的角度提出了适合浅孔的切入量优化控制方法和适合深孔的功率钻速优化控制方法。并论述了2种优化方法的基本原理和实现方法。

关键词 优化钻进 钻柱—孔壁环节 切入量控制 功率钻速控制

自控钻进

1 前言

目前为止,优化钻进原理的研究基本上以岩石和钻头的相互作用机理为依据,包括岩石性质、岩石破碎机理、钻进速度和钻头磨损等与钻进规程的关系,这些研究工作具有非常重要的价值。但是,为了在生产过程中实现优化钻进,还必须研究其它一些具有重要影响的因素。如深孔条件下细长的钻杆柱的影响等。

钻进过程是一个非常复杂的系统。实质上是一个能量传递与能量消耗的过程,最终达到破碎岩石而完成钻孔的过程。根据所起作用的不同,可以将钻进系统划分为地表设备、钻柱—孔壁、钻头—岩石和冲洗液循环等4个环节(图1)。

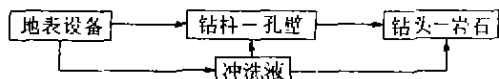


图1 钻进系统的构成原理图

从图1的关系可以看出,钻柱—孔壁环节是地表设备与钻头—岩石环节唯一的连接通道,对于能量传递将起到非常重要的作用。如果针对具体情况确定最主要的环节,采取不同的优化钻进方法,将获得更好的钻进效果。

地表设备是自控钻进中的可控制部分。设备性能是已知的,不确定的影响因素少。而且所有的控制动作都要通过地表设备来完成。其关键是钻进规程参数检测和反馈控制机构等硬件技术的研制和开发。钻压、转速和冲洗液流量等规程参数的调节实质上就是系统中输入能量的调节过程。

钻柱—孔壁实质上是能量传递的一个关键而又十分复杂的环节。钻压、转速、孔深、钻柱结构、孔斜、孔壁状态、冲洗液性能和地层类型等等都是重要的影响因素。在钻进过程中随时都可能发生变化。

很难用一种确定的函数关系来表达。而这一环节对于实现高效和安全钻进生产是十分重要的。特别是在深孔条件下显得更加重要。钻柱—孔壁环节将消耗总输入能量的80%~90%,因此直接关系到钻进过程的优化效果。

钻头—岩石是有效能量消耗的一个环节。主要体现在钻头与岩石的适应性和合理的钻进规程等方面。通过对岩石破碎机理、钻头磨损机理和钻进规程优化钻进实验研究等工作,可以取得比较确定的研究结论。国内外在该方面开展了大量的研究工作,所获得的研究成果在生产中也发挥了一定作用。但是,正是由于钻柱—孔壁环节的存在,使得这些研究成果的推广应用遇到了极大障碍。

对于冲洗液系统的作用,这里需要特别强调的是润滑减阻性能,它对钻柱—孔壁环节的能量传递过程将起到重要作用。

以上论述说明,钻柱—孔壁是优化钻进过程中最重要的一个环节。而该环节的存在直接与钻孔深度有关。因此,本文中主要是从能量传递与消耗的角度探讨优化钻进原理。下面主要针对浅孔和深孔两种条件下提出了相应的优化钻进控制方法。

2 切入量控制优化钻进方法

切入量控制就是通过控制钻头每转切入岩石的深度来达到优化钻进目的的一种优化钻进方法。该方法根据钻头—岩石之间的相互作用机理,提出以钻头每转切入量为优化目标。适合浅孔条件下的钻进过程优化控制。因为浅孔时钻柱—孔壁环节所起的作用较小,地表设备输出的能量通过较短的钻柱能有效地传递到钻头上。优化钻进效果的好坏在很大程度上取决于钻头—岩石环节。

孔底岩石在钻头切削刃的作用下发生破碎,同

时钻头切削刃遭到磨损。通过调节钻压和转速等钻进规程参数,使碎岩效率和钻头磨损都达到合理范围时,就实现了优化钻进。对于孕镶金刚石钻头,通过大量实验研究和实践表明,其唇面状态与钻进效果和钻进规程参数密切相关。在硬岩中钻进时,钻头抛光现象是比较普遍存在的问题。反之,如果在钻头出刃良好的情况下,钻进速度过快势必造成钻头的过度磨损,甚至造成烧钻等事故。因此,寻求一种有效的能控制钻头唇面状态的方法是十分必要的。例如在生产实践中的酸蚀法、喷砂法等都是解决钻头唇面问题的技术手段。但这些方法基本上是凭经验来实现,效果不稳定,只有在回次提钻后在地表处理。如果处理不当,或者效果不明显,或者对钻头造成过度损伤。

切入量控制方法能实现连续自动地控制钻头的唇面状态(图2)。当钻头唇面切削刃处于锋利状态时,通过切入量的控制(钻压相对较小),即可以获得一定的钻进效率,又可以避免钻头的过度磨损。随着钻头逐渐磨钝,钻压也随之而增加,造成部分被磨钝的切削刃发生破碎或脱落,实现切削刃的更新。同时,由于每转切入岩石一定的深度,则可以产生足够的岩屑量促使钻头的出刃和锐化。上述过程是在钻进过程中随时都在进行的一种机制。因此,做到了使钻头唇面一直保持在较为合理的出刃状态下,避免了钻头过度磨损和抛光等现象,同时,又可以获得较高的钻进效率。钻进过程中的功率消耗也比较合理,并提高了钻进生产的安全性。

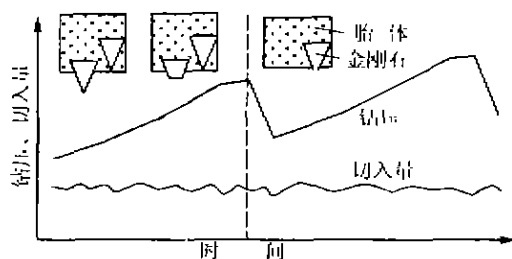


图2 切入量控制原理图

通过大量的实验研究,在使用孕镶金刚石钻头的情况下,钻头每转切入岩石的深度 h 有一个最佳范围,即 $h_{\min} < h < h_{\max}$ 。该范围与岩石的性质密切相关。一般情况下可以按下面的公式进行估算: $h = k \cdot d$ 。其中 d 为钻头的公称直径; $k = 0.001 \sim 0.003$, 是岩石性质决定的系数。对于较软岩石系数 k 取高限;对于较硬岩石系数 k 取低限。

切入量控制方法中主要调节参数是钻压,而转速应尽量提高。在浅孔条件下,由于钻柱较短,高转

速有利于提高钻进效率;钻机输出的能量能有效传递到钻头上,钻柱—孔壁所消耗的能量则相对较小。

3 功率钻速控制优化钻进方法

该方法将钻柱—孔壁环节作为主要对象,结合钻头—岩石之间相互作用机理,从能量传递角度进行优化钻进原理探讨。与切入量控制方法不同,它不仅可用于浅孔,也适于较深钻孔。深孔条件下,钻柱—孔壁对能量传递将起到关键作用(图3)。

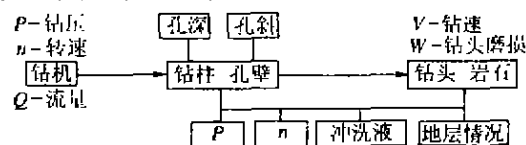


图3 钻进能量传递途径及其影响因素

图3箭头代表能量的传递方向,钻进过程中能量传递主要通过钻柱—孔壁环节实现,受到孔深、孔斜、地层条件、钻压 P 、转速 n 、冲洗液和地层条件等多种因素的影响。其中有些因素是客观上存在的,是不可改变的,而且在钻进过程中可能会发生变化。如孔深、孔斜、地层条件等。而钻压、转速和冲洗液是可控制因素。因此,优化钻进就是通过钻压、转速和冲洗液的调整,使其适应其它条件的变化,达到能量传递效率最高的一种途径。

有关研究结果表明,钻柱—孔壁所消耗的能量是非常复杂的。国内外学者提出了一些估算方法。在一般情况下,可以认为该部分的功率消耗与孔深和钻压成正比,与转速和钻柱直径的 X 次方成正比 ($X = 1 \sim 3$)。而冲洗液、孔壁状况、孔斜和钻柱结构等方面的影响用经验系数来修正估算结果。当规程选择不当,造成钻具振动时的功率消耗会成倍增加。在钻头—岩石相互作用方面的研究结果表明,在合理的规程范围内,碎岩功率与钻压和转速的乘积 ($P \cdot n$) 成正比。钻进速度与钻压的关系是在门阈钻压和最大允许钻压之间,钻进速度与钻压成正比。当钻压小于门阈钻压时,钻速极低;当钻压大于最大允许钻压时,钻进速度增加不明显或略有降低,而此时的功率消耗和钻头磨损急剧增加。在一定的转速范围内,钻进速度基本上与转速成正比。

在一定的钻孔深度下,机械钻速和钻进消耗功率是两个十分重要的指标。因此,提出了功率钻速的概念,是钻进过程中机械钻速与消耗功率的比值,即 $V_N = V/N$,其中 V_N —功率钻速 ($m/kW \cdot h$), V —机械钻速 (m/h), N —消耗功率 (kW)。深孔条件下,功率钻速是实现优化钻进的一个很好的优化目标。功

率钻速控制优化钻进原理如图 4。

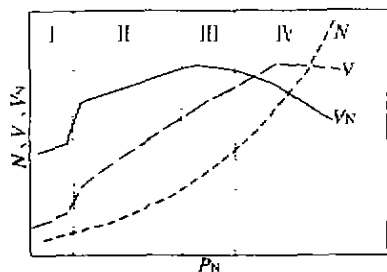


图 4 功率钻速控制原理示意图

从公式中可以看出, V_N 实质上是单位能量消耗下完成的钻进深度。如果在钻进过程中能够使 V_N 达到最大, 则说明了系统传递能量的效率最高, 即钻柱—孔壁、钻头—岩石等各环节处于最佳状态, 从而实现了优化钻进的目的。

通过上述分析, 再结合图中所示的各参数变化趋势, 可以将其分成 4 个区域。

I 区: 钻进规程很小, 不能有效地破碎岩石, 钻进效率很低, 能量大部分消耗在钻柱—孔壁环节, 功率钻速也很低。

II 区: 随着钻进规程的加大, 钻进碎岩效率提高, 用于破碎岩石的能量相对增大, 功率钻速呈增加趋势。在该区可以适当加大钻进规程, 以便获得更高的钻进效率。

III 区: 钻进规程达到最佳范围, 钻柱—孔壁的能量传递效率也达到最高, 功率钻速最高。

IV 区: 钻进规程过大, 一方面造成钻柱严重变形, 与孔壁间的相互作用加大, 能量消耗过大; 而且可能破坏孔壁的稳定性以及造成钻柱折断等事故。另一方面也可能使钻头过度磨损, 缩短钻头寿命。

除此之外, 其它因素如孔深、冲洗液、孔壁状况、孔斜和地层等影响因素都包含在功率钻速 V_N 之中。因此, 功率钻速 V_N 达到最大是深孔条件下的一个最好的优化指标。该方法不仅适合于金刚石钻进, 也适合于所有的深孔钻进条件。

功率钻速控制方法的实现有 2 条途径: 其一是通过大量实验研究, 找出功率钻速 V_N 与一些主要因素间(钻进规程、孔深、岩石性质等)比较确定的数

学关系。再根据钻孔具体条件进行适当修正, 可比较直接达到优化钻进目标。但其难度非常之大, 只有在积累大量钻孔数据基础上才有可能实现。其二是在钻进过程中动态寻找最佳钻进规程参数, 使功率钻速 V_N 达到最大。例如适当增大或减小钻进规程后, 根据功率钻速 V_N 变化趋势即可判断出当前钻进规程是否达到最优。该方法比较灵活, 适应范围宽, 便于实现。原理框图 5 所示。

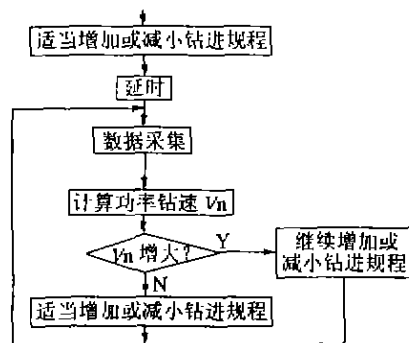


图 5 功率钻速控制原理框图

此外, 通过功率钻速可以及时发现孔内的异常工况。例如由于卡埋钻、烧钻或冲洗液循环系统故障等造成的钻进扭矩的急剧增大, 会引起钻进功率消耗的急剧增加; 由于岩心堵塞、钻头抛光或钻柱折断等造成的钻速大幅度降低等等。

4 结论

钻进过程是一个复杂的能量传递与能量消耗的过程。钻柱—孔壁环节对能量传递起关键作用。因此, 必须重视钻柱—孔壁环节在钻进过程中地位。从能量消耗与钻进效率的角度来进行优化钻进原理的探讨是可行的, 具有实用价值。对于深孔钻进采用功率钻速 V_N 作为优化目标函数, 即可以获得较高的钻进效率, 又能减少能量和材料消耗, 同时可以提高钻进生产的安全性。而切入量控制方法不适合深孔钻进条件。对于浅孔, 由于钻柱—孔壁的能量消耗较小, 可以主要根据钻头—岩石的作用机理来进行优化钻进原理的研究, 即采用切入量控制方法。但是根据上述对功率钻速控制方法的原理分析可知, 也可以采用功率钻速控制方法。

OPTIMIZING DRILLING TECHNOLOGY IN COMPUTERIZED DRILLING

Liu Baolin, Gui Nuanyin

Bore - drill string system is a very important factor of transmitting energy to bit. Two optimizing drilling technology in computerized drilling, constant penetration control adapting to shallow hole power - penetration (penetration over power) control adapting to deep hole, are presented. The concept and practice about this two method are discussed.

Key words optimizing drilling, bore - drill string system, constant penetration control, power penetration control

(下转第 93 页)

利用上下行波找出桩底反射,求得桩身平均波速,这是比较准确的。如果桩底反射明显,也可利用桩底反射计算波速。

表3 某工地夯扩桩不同 J_c 取值的实验结果

J_c	桩号				
	试1	试2	试3	试4	试5
0.05	1482	1854	1178	1310	1237
0.19	1457	1836	1102	1305	1184
0.15	1432	1815	1027	1279	1131
0.20	1407	1791	953	1245	1079
0.25	1382	1760	878	1203	1028
0.30	1357	1733	1179	977	
0.35	1331	1705	1156	928	
0.40	1306	1682	1124	879	
静荷载结果	1440	> 1760	1100	1200	1200

2.3 J_c 值的选取

J_c 值选取是否准确直接影响到桩的极限承载力。在国际上有一个推荐的不同地基土条件下 J_c 的取值范围,一般情况下,我们可以应用。实际上, J_c 是一个与桩型、桩径、地基土类型以及桩体穿过土层的力学性质等许多因素有关的综合参数,本人

认为应用时不能简单套用。

某工地桩型为夯扩桩,持力层为硬塑粉土。表3是在不同的 J_c 值下得出的结果,按国际推荐表取值,桩尖土的阻尼系数范围应在 0.15 ~ 0.40 之间。按桩基检测规程,同一场地内的 J_c 值应大致相同,最大相差不得超过 0.1。通过对比,在此工地若采用推荐值结果都偏小,比推荐值高一级取值(取 0.1),动静对比结果趋于一致。后来的工程桩检测证明,这样的取值是合适的。

3 结论

从以上的对比和分析可以看出,桩基检测工作是一项严谨而细致的工作,现场测试中的任何疏忽都可能引起测试的失败,数据处理时任何参数的误差都可能给结果带来超精度的误差,甚至得到错误的结果。因此,它要求测试人员不但要有精湛的专业技能,严肃的工作态度,而且要有丰富的实践经验,能够及时准确地发现并解决问题。

APPLICATION OF HIGH-STRAIN DYNAMIC PEGGING TO THE DETECTING OF PILE FOUNDATION

Wang Huaiyuan, Li Dexin

The detecting technology of high-strain dynamic pegging (including the various affects, such as treatment of pile head, hammering energy and installation of sensor) and the data analysis technology (including choice of testing curves, determination of wave velocity, choice of J_c) are discussed.

Key words high-strain dynamic pegging, detecting of pile foundation, inquiry



第一作者简介:

王怀元 男,1969年出生于四川省广安县,1993年毕业于中国地质大学(北京),同年分配到中国纺织工业设计院工作。一直从事桩基的高低应变检测。

通讯地址:北京市 中国纺织工业设计院 邮政编码:100037

(上接第90页)



第一作者简介:

刘宝林 男,1959年生。1982年毕业于长春地质学院探矿工程专业,1985年在中国地质大学(北京)探工系获硕士学位。现任中国地质大学(北京)工程技术学院副教授,科学钻探国家专业实验室副主任。主要从事自控优化钻进、科学钻探和教学工作。

通讯地址:北京市海淀区学院路29号 中国地质大学(北京)工程技术学院 邮政编码:100083