

钻探工程学

钻探设备及设计原理

中 册

屠厚泽 主编 赵国隆 主审

中国地质大学出版社

前 言

新编《钻探设备及设计原理》是在原五院校统编的《岩心钻探设备及设计原理》的基础上，根据新的教学计划（由原来120学时压缩到60学时）的要求，重新编写的。在写作方法上仍采用不同种类的钻探设备的相同部件放在一起进行横向分析的方法。新编教材为了达到压缩字数，而又保证基本内容，尽可能做到了文字简练，避免不必要的大篇叙述及内容的重复；同时为了拓宽专业面适应目前钻探设备已有较大的发展和更新的形势，新编教材增加了水文水井钻探设备、离心泵、钻塔新的设计计算方法等方面的内容。教材中的典型例子采用了具有代表性的新型和常用的钻探设备，删除了一些陈旧内容，并修改了原教材中的错误及不足之处。

本教材是中国地质大学探工系屠厚泽教授主编的《钻探工程学》中册，书中内容包括正文三篇：第四篇——钻机；第五篇——地质钻探用泵；第六篇——钻塔和塔桅。

本教材由中国地质大学探工系黄振群、冯德强同志编写。具体编写分工是：冯德强同志编写第四篇；黄振群同志编写绪言、第五篇、第六篇。

因编写时间仓促，且资料有限，本书难免存在一些问题，敬请读者批评指正。

编 者

一九八七年七月三十一日

目 录

绪言	(1)
----	-------

第四篇 钻 机

第一章 概述	(4)
第一节 钻机的功用与组成	(4)
第二节 对钻机的要求	(4)
第三节 钻机的技术性能	(5)
第四节 钻机所需的功率	(8)
第二章 机械传动系统	(13)
第一节 动力机与钻机执行机构的工作特性分析	(13)
第二节 机械传动系统的功用及要求	(15)
第三节 典型钻机的机械传动系统	(16)
第四节 钻机的总体布局及机械传动系统的确定	(19)
第三章 主摩擦离合器	(27)
第一节 主摩擦离合器的功用、类型及设计要求	(27)
第二节 典型摩擦离合器的结构及工作原理	(28)
第三节 摩擦离合器工作过程分析	(33)
第四节 主摩擦离合器的参数确定及设计计算	(34)
第四章 变速箱及分动箱	(39)
第一节 变速箱及分动箱的功用、要求与设计步骤	(39)
第二节 变速箱及分动箱的结构形式	(40)
第三节 变速箱结构设计要点	(47)
第五章 回转器与卡盘	(51)
第一节 回转器的功用、要求及类型	(51)
第二节 回转器的结构分析	(52)
第三节 回转器参数选择及设计计算	(63)
第四节 卡盘	(68)
第六章 升降机	(79)
第一节 升降机的功用、要求及类型	(79)
第二节 行星轮式升降机工作原理	(81)
第三节 升降机结构形式分析	(84)
第四节 升降机的典型结构	(87)
第五节 升降机主要参数的选择及设计计算	(90)
第七章 给进机构	(99)
第一节 给进机构的功用、要求及类型	(99)

第二节 机械给进机构	(100)
第三节 液压给进机构	(106)
第四节 液压给进机构主要参数选择	(111)
第八章 液压传动系统	(114)
第一节 液压传动系统的功用、要求及组成	(114)
第二节 钻机液压传动基本回路的选择	(115)
第三节 液压系统主要参数的选择	(125)
第四节 典型钻机液压传动系统	(127)
第九章 机座	(141)
第一节 机座的功用及要求	(141)
第二节 机座的类型及典型结构	(141)

第五篇 地质钻探用泵

第十章 概述	(144)
第一节 泵的分类及其在钻探工作中的功用	(144)
第二节 钻探工作对钻井泵性能的要求	(144)
第十一章 往复式活塞(柱塞)泵	(146)
第一节 往复式水泵的工作原理	(146)
第二节 往复式泵的基本结构及主要零部件	(147)
第三节 往复式泵的易损件及影响其寿命的主要因素	(163)
第四节 常用往复式钻井泵简介	(166)
第五节 往复式钻井泵的流量及其变化规律	(181)
第六节 往复式钻井泵的压力变化规律	(186)
第七节 往复式钻井泵基本参数的确定	(198)
第八节 往复式钻井泵主要零部件的设计和计算	(208)
第九节 往复式钻井泵的使用与维护	(232)
第十二章 螺杆泵	(234)
第一节 概述	(234)
第二节 单螺杆泵的基本工作原理及基本结构	(235)
第三节 螺杆(转子)的形状	(238)
第四节 衬套(定子)的形状	(239)
第五节 转子与定子截面曲线的比较与密闭腔的形成	(242)
第六节 螺杆在衬套里的运动	(246)
第七节 单螺杆泵轴向力的确定	(248)
第八节 单螺杆泵基本参数的计算	(251)
第九节 螺杆与衬套主要尺寸的确定	(253)
第十节 单螺杆泵的附件	(254)

第六篇 钻塔和塔桅

第十三章 钻塔和塔桅的基本结构与载荷分析.....	(256)
第一节 钻塔的基本要求与类型.....	(256)
第二节 钻塔的结构.....	(259)
第三节 四脚金属钻塔基本参数的确定.....	(264)
第四节 钻塔载荷的分析和计算.....	(266)
第十四章 钻塔杆件内力的计算和校核.....	(276)
第一节 钻塔杆件内力的计算.....	(276)
第二节 钻塔的校核计算.....	(293)
第十五章 塔桅结构的计算.....	(300)

绪 言

钻探工程广泛地应用于金属与非金属矿床、地质勘探、水文地质勘探与水井钻凿、工程地质勘察与施工、石油、天然气和地热勘探与开发、矿山开采等各个方面。由于使用条件不同则需要采用不同类型的钻探设备。所谓钻探设备是指完成一个钻孔所必须的一切地面设备、动力装置及其它技术装备的总称。在一个钻探机组，一般包括钻机、泵、动力机和传动装置以及与之配套的钻塔、拧管机等。

(一)

三十多年来，随着钻探方法和工艺的发展，钻探设备有了很大的进步。岩心钻机经历了机械手把式、机械传动液压给进式和全液压动力头式三个发展阶段；工程钻机、水文水井钻机也由单一的机械冲击式钻机，发展为振动式钻机、螺旋钻机及机械或液压的“冲击-回转”、“冲击-振动-回转”的复合式钻机。在外观上、结构上、技术参数及性能方面都发生了重大变化，且已形成了比较完整的系列。与钻机配套的钻井泵，变量范围增大，变量方式增多，由于往复式钻井泵向高速短行程发展，泵的自重和体积减小，由于广泛采用三缸单作用泵，泵的排量和压力更加稳定。近几年陆续研制了多种螺杆泵，结构简单、流量稳定、轻便可靠，已应用于实际钻探工作。钻探用塔架由大断面四脚塔，向小断面的A型塔、H型塔以及各种类型的轻便塔桅发展，在结构上、运移性能上得到较大改善，自重减轻。

在钻探设备的设计计算方面，由于零件逐渐标准化、通用化，设计周期缩短、互换性能改善、经济效益提高，由于计算机辅助设计、优化设计、可靠性设计以及有限元分析等方面的应用，钻探机械设备设计计算方法已开始由传统的设计方法向现代化设计方法转变，在以最短的时间、最少的材料消耗、最低的成本设计研制出轻便可靠、安全高效的设备方面取得了明显的成效。

随着隐伏深部矿藏勘探的需要，钻孔深度增加，钻探设备功率加大，复杂程度增加。为了充分利用钻探设备的功率、提高钻探工作效率，钻探设备将配备水刹车和液力变矩器等液力传动装置；为了严格执行钻进规程、准确测量各种钻进参数，使钻探过程自动化、仪表化、程序化，实现科学钻进，钻探设备将要配备相应的测试和监视显示及自动控制仪表。

(二)

钻探设备一般可按照钻进方法分类，也可按照用途分类，还可以按传动方式分类，

1. 按用途分类，

- ①主要用于固体矿藏勘探并从孔底提取岩心的钻探设备，称为岩心钻机机组，
- ②用于水文地质勘探或探采结合、水井钻凿的钻探设备称为水文水井钻机机组，

③用于桥梁、水坝、高层建筑等基础的工程地质勘察的钻探设备，称为工程地质钻机机组；

④用于钻桩基孔、灌浆孔等工程施工的钻探设备，称为工程钻机机组；

⑤用于勘探、开发地下热水和热能的钻探设备，称为地热钻机机组；

⑥用于地质普查、找矿钻进浅孔取样的轻便型钻探设备，称为取样钻机机组；

⑦用于钻物探爆破孔进行物理探矿的钻探设备，称为物探钻机机组；

⑧用于地下、隧道或坑道中钻孔的钻探设备，称为坑道钻机机组；

⑨用于勘探和开发石油及天然气的钻探设备，称为石油钻机机组；

⑩用于砂矿勘探的钻探设备，称为砂矿钻机机组，等等。

2. 按钻进方法分类：

①通过钻头在孔底的上下运动来冲击破碎岩石的冲击钻进工艺的钻机，称为冲击式钻机。其中，用钢丝绳带动钻头冲击孔底破碎岩石的称为钢绳冲击钻机，用钻杆带动孔底钻头进行冲击破碎岩石的称为钻杆冲击式钻机；

②通过钻头回转，破碎孔底岩石的回转钻进工艺的钻机，称为回转式钻机。其中按回转部分结构的不同分为四种：

i) 采用立轴作为回转、给进装置主要构件的回转式钻机机组；

ii) 通过转盘及异形截面主动钻杆驱动钻具旋转的回转式钻机机组；

iii) 钻机工作机构及其操纵机构均采用液压传动形式的回转式钻机机组，称为全液压力头式钻机机组；

iv) 回转破岩机构及发动机全部潜放孔底的回转式钻机机组，其中包括有：涡轮钻、电钻、螺杆钻和潜孔钻等。

③采用震动器的振动及冲击来破碎岩石的钻机机组；

④具有冲击和回转两种以上破碎岩石功能的钻探设备，称为复合式钻机。

此外钻机还可根据其装载、运移方式等分为固定式、拖引式和自行式钻机。浅孔用直接整体装运式钻机称为轻便式钻机。

(三)

钻探设备类型、用途、性能要求及结构特点虽然各有不同，但其设计过程基本相同。一般较正规和完备的钻机设计程序应该是：

1. 制定设计任务书：用户根据国内外有关资料、市场信息以及厂方的加工制造水平，做了可行性论证以后提出设计任务书。其中主要内容有：钻机的主要用途、钻机的基本参数、钻机的平面布置框图、钻机所用的动力、外形尺寸要求、制造成本的估价限额及其它特殊要求等。它是钻机设计的依据。

2. 总体设计阶段：根据设计任务书的要求和钻机的工作原理，本着简单、实用、经济、美观等原则，分析比较各种可能的传动方案、各部分之间的运动和动力关系以及大体位置，绘制出钻机的传动系统图及速比分配图。

3. 结构设计和设计阶段：根据已确定的运动系统简图，进一步考虑和决定各个部件的相对位置及连接方法，以及主要零件的具体形状、尺寸、材料、制造、安装和配合等一系列问题，绘制部件和总体的方案草图，并交用户或请有关专家审定。

根据已审定的方案草图及修改意见，进行深入的类比、选择和修改，然后对各部件的结构尺寸作仔细的校核计算，或对钻机的整个系统或局部进行优化设计和可靠性设计，并对结构、装配、润滑等一系列问题作统一考虑，尽量采用新工艺、新技术、新结构、新材料，最后确定方案及零件尺寸，画出部件装配图（部件总成）及总装配图。

4. 工作图设计阶段：完成结构设计与技术设计工作以后，即进入工作图设计阶段（或拆图阶段）。此时，将部件装配图中非标准件按标准画法制图，并作标准化校核。零件绘图设计完成后，再返回修改部件总成和总装图。最后绘制钻机零件的明细表、标准件明细表、外购件明细表等。

此外，一套完整的钻机图件还应有电气、仪表、液压、润滑等系统图，以及计算书、说明书等。

（四）

《钻探设备设计原理》的任务，就是要详细论述钻探设备的钻进工艺要求及实现的方案、结构和工作原理；钻探设备及其主要部件的性能参数与结构参数的确定原则、理论计算；对钻探设备及其主要部件的工作状态进行力学和运动学分析，力求阐明钻探方法与设备的整体和局部之间的内在联系及客观规律性。此外，对国外某些较典型的钻探设备及新技术资料加以介绍。

学习这部分内容，要求掌握钻探设备的类型、结构与工作原理；要能根据钻探工艺的要求正确评价、合理选择和使用钻探设备；要能清楚地了解钻探设备参数的确定及设计的基本原理，具有从事钻探设备某些部件和机具的设计能力。

在学习传统机械设计理论与技能的基础上，进一步了解与掌握现代机械设计的理论与技能以及国内外钻探设备发展的动向，为我国钻探设备的现代化而努力。

第四篇 钻 机

第一章 概 述

钻机是向地下钻孔的机器。它广泛应用于国民经济的许多部门；它是从事各种钻探施工必不可少的主体设备。目前，钻机的品种繁多、形式多样。随着国民经济的发展，钻探领域的逐步扩大、钻探工艺的更新和科学技术的不断进步，必将更加促进钻机的发展。深入研究各种钻机的结构及设计理论，将有助于正确选择、合理使用钻机；同时，也有助于设计出更先进的新型钻机。

不同类型的钻机有不同的使用条件、结构形式和设计要求。本篇主要研究岩心钻探及水文水井钻探用回转式钻机的结构形式、工作原理及设计原理。

第一节 钻机的功用与组成

钻机在钻孔（井）生产过程中主要完成回转钻具、给进钻具、升降钻具、起下套管（井管）、拧卸钻具及其它特种工作。

回转和给进钻具的目的是实现钻头连续破碎岩石、不断加深钻孔；而升降及拧卸钻具是为了提取岩心、更换钻头、加长钻具或进行其它有关工作。

钻机要具有以上功能，必须设有回转机构、给进机构、升降机构、拧卸机构；此外，为使各工作机构获取动力，并按一定的要求协调工作，还必须设置传动机构、能量转换机构、控制装置，以及将这些机构组装为一体的机架（座）。上述这些机构和部件，在具体的钻机中，有的可能是合一的，并具有多种功用。例如：钻石-600型全液压钻机的液压给进机构，也是钻机的提升机构。有些可以独立为钻机的附属设备而单独配备。如拧卸机构可独立为拧管机。

第二节 对钻机的要求

钻机的结构是否先进、性能之优劣、功能之多少直接影响钻探工程的质量、效率、成本和安全，以及其它技术经济指标。为保证多、快、好、省地进行钻探生产，钻机必须满足以下要求：

1. 钻机的各项技术性能要满足钻进工艺的要求。例如：回转器应有足够的调速范围和转速级数，以满足不同钻进情况对转速的要求；给进机构的给进力和给进速度应能满足钻头所需压力和钻头瞬时钻速的要求；升降机的提升能力和提升速度应尽可能地减少升降

工序所用的时间，等等。

2. 钻机必须配备必要的检测和指示仪表。以供操作者了解和掌握钻进参数及孔内情况，以便于控制及选择钻进参数。现代钻机应配有钻压表、转速表、扭矩表、钻速表等。

3. 钻机应能传递足够的功率，保证各工作机构正常工作及短时间超载。

4. 钻机应具有处理孔内事故、完成纠斜等特种工作的技术性能。

5. 钻机的机械化、自动化程度要高，以利于提高生产效率，减轻工人劳动强度。

6. 钻机应满足机械设备的一般要求：

(1) 具有足够的强度、刚度、耐久性；

(2) 钻机重心低、稳定性好、动平衡性好；

(3) 制造工艺性好、结构简单、加工和维修方便，成本低；

(4) 传动效率高、动力消耗少；

(5) 结构紧凑，尺寸、重量（整机重量及部件重量）小、可拆性好，便于运输及安装；

(6) 三化（通用化、标准化、系列化）程度高。

第三节 钻机的技术性能

钻机的技术性能就是钻机的各项技术参数。它是衡量钻机生产技术与经济性能的指标的总和。

钻机的技术性能反映了一定时期的科学技术水平、生产水平和钻探工艺水平。它是随着科技、生产和钻探工艺的发展而变化的。

钻机的技术参数是选择、使用、评价钻机的依据；设计钻机时，技术参数是进行总体结构设计和部件结构设计的前提。

钻机的技术性能包括钻进能力参数、工作参数、总体尺寸、重量以及钻机配备动力机的参数。

一、钻进能力参数

钻进能力参数包括：钻进孔深、钻孔直径（开孔直径和终孔直径）、钻杆直径以及钻孔倾角。这些是组成钻孔结构的基本要素。它表明了钻机可以完成的钻孔结构，同时，反映出钻机的钻进能力和使用范围。

（一）钻进孔深

指的是公称钻进深度，并不表示钻机实际所能钻进的最大孔深。钻机的最大钻进孔深一般约大于公称钻进深度的15—25%。

钻进孔深主要依据钻机的设计任务和标准系列规定选择。目前我国地矿部岩心钻机系列标准以 $\phi 42\text{mm}$ 钻杆的可钻深度（m）数字表示。系列标准定为：100、300、600、1000、1500、2000。水文水井钻机系列标准以 $\phi 73\text{mm}$ 钻杆的可钻深度（m）数字表示。系列标准定为：150、300、600、1200、2000、3000。

（二）钻孔直径

钻孔直径包括开孔直径和终孔直径。其范围的大小随钻孔深度而不同。钻孔深度越大，许用钻孔直径范围也越大。钻孔直径反映了钻机可完成的钻孔的孔身结构和适应的钻进方法。

岩心钻探的终孔直径是根据不同的钻进方法所规定的最小岩样和标准钻头直径确定的。开孔直径是根据终孔直径和孔身结构推出。孔身结构则主要取决于钻进深度、地层性质和工艺水平。

钻孔直径的大小直接影响钻进效率、磨料消耗、功率消耗、钻机尺寸和钻机重量等指标，因此对岩心钻机，只要能满足地质取样要求，尽可能减小终孔直径。

随着岩矿鉴定和钻探生产技术的发展，岩心钻探钻孔终孔直径将有缩小趋势，孔身结构也将不断简化。

岩心钻探的钻孔直径与钻进深度的关系可参考表1-1。

表1-1

孔 深 (m)		100		300		600		1000—1200		1500—2000	
钻进方法	孔 径 (mm)										
合金与钢粒钻进	开孔直径	91—110		110—130		130—150		150			
	终孔直径	75		75		75—91		75—91			
金 刚 石 钻 进	开孔直径	50		76		130		150		50	
	终孔直径●	30		30		46		46		46(56)	

●目前多数矿种采用的基本孔径为φ59或φ50

水文水井钻探的终孔直径是根据能够准确获得水文地质资料所允许的最小孔径而确定的。目前我国规定的最小水文孔孔径为150mm。开孔直径根据钻孔孔身结构导出。水文水井钻探孔径与孔深关系见表1-2。

表1-2

钻机型号	SXX-150			SXX-300			SXX-600			SXX-1200		SXX-2000		SXX-3000	
钻杆直径 (mm)	60	73	89	60	73	89	73	89	73	89	73	89	73	89	
钻孔深度 (m)	200	150	100	400	300	200	600	400	1200	800	2000	1300	3000	2000	
开孔直径 (mm)	350		550	350		550	350	550	350	550	350		350		
终孔直径 (mm)	150		350	150		350	150	350	150	350	150		150		

注：●为水井钻探开孔直径

(三) 钻杆直径

钻杆直径直接影响回转器与升降机的能力和尺寸，以及回转钻具和提升钻具所需功率。钻杆直径大小与孔深、孔径、转速和传递功率大小有关。一般钻孔越深，口径越大，所用的钻杆直径也越大。如果钻孔口径大，而采用的钻杆直径小，钻杆在钻孔中的弯曲度增加，工作条件恶化，不仅影响钻进速度和质量，而且也容易引起孔内事故，特别是在高转速的情况下，更加容易导致以上恶果的发生。因此，钻孔直径和钻杆直径应有合理的级配关系。一般情况下，钻具转速越高，钻孔直径与钻杆直径之比应越小。

目前我国岩心钻探及水文水井钻探钻孔直径及钻杆直径级配关系见表1-3。

表1-3

钻孔类别	岩 心 钻 探 孔			水 文 孔	水 井 孔
钻进方法	钢粒钻进	合金钻进	金刚石钻进		
级配 ($\frac{D}{d}$)	2.8	2.2	1.1	2.0—2.5	4

注：①岩心钻探之级配中钻孔直径是以主要见矿孔段直径考虑的。

②水文、水井之级配中“D”指终孔直径

(四) 钻孔倾角

指钻机所能完成钻孔倾角的范围。

水文、水井钻孔一般都为垂直孔，所以水文水井钻机回转器不考虑变角装置。

在金属及非金属固体矿产勘探中，有时因矿体呈倾斜状态，为了探明倾斜矿体的真实厚度，需要钻进垂直于或接近垂直于矿体的倾斜钻孔。在坑道里有时需要钻水平孔及仰孔。为了能钻进不同角度的钻孔，岩心钻机的回转器应能变角。

在钻斜孔时，钻孔的自然弯曲度随钻孔的深度增加而增加，因此，钻机回转器随孔深增加，而变角范围要求愈小。钻机回转器变角范围与孔深关系见表1-4。

表1-4

钻机钻进孔深(m)	≤200	300—500	600—800	800—1200	2000
回转器转角	0°—90°(360°)	45°—90°	60°—90°	75°—90°	90°

钻机的变角范围应依据钻机的用途、适应的孔深、地质勘探的要求而定。而在实际设计中，钻机回转器的变角范围以由钻机的总体布局方式所决定。横向布局的立轴式钻机，回转器变角范围为45°—90°。纵向布局的立轴式钻机，回转器变角范围为0°—360°。转盘式钻机由于其结构限制，其变角范围为70°—90°。

以上四项参数，在设计钻机时，选择其值的大小直接影响结构的设计、其它参数的确定以及钻机所需功率的大小。因此，要根据钻机的用途、使用范围进行合理选择。已生产出的钻机的四项能力参数，表明了钻机的工作能力和使用范围。在选择钻机时，要根据实际具体情况，合理选用。防止小钻超自身能力打深孔及大直径孔和尽可能避免深钻打浅孔的不合理现象。但要指出的是：目前现有的钻机，由于设计原因，具有相同公称钻深，而类型不同的钻机，其实际钻进能力差别很大。

二、工作参数

此部分参数是指钻机各执行机构的工作速度和负荷能力。它反映了各执行机构的工作特性。

工作参数包括回转器的转速和扭矩；给进机构的给进力、上顶力、给进速度、倒杆速度、给进行程；升降机构的提升速度和最大提升负荷。这些参数主要是根据钻进过程中外载荷及其性质和钻探工艺对工作速度的要求，以及实际可能等决定的（具体确定方法见各有关章节）。

三、钻机的重量及解体性

钻机的重量也是钻机的重要性能指标之一。在衡量该指标时，通常是用重量系数来比较的。重量系数等于钻机的额定钻进深度（m）与钻机重量（kg）之比。在其它条件相同

时,重量系数在某种程度上反映了设计、制造和选材水平的高低,它是使用中影响搬迁的主要因素。

我国岩心钻机重量系数已接近或达到世界水平,只因制造质量(零部件、齿轮、液压系统)低于国外水平,所以可靠性、耐用性、使用寿命与工业发达的国家有所差距。我国XY系列钻机与美国“长年”系列钻机重量系数对比见表1-5。

解体性指拆装的方便程度,最大解体部件重量和安装后的运转质量。它直接影响拆装、运输和正常工作。对于岩心钻机,考虑其多在山区工作、要求钻机解体性要好,最大可拆部件重量轻。水文水井钻机多在平原地区或交通方便地区工作,因此对解体性没有特殊要求,而主要考虑运移性能。

表1-5 我国XY系列与美国“长年”岩心钻机主要设计参数对比表

	XY-1	长年24	XY-2P	XY-2	长年34	XY-3	长年38	XY-4	长年44	XY-5
钻 深 (m)	100	220	300	500	519	600	725	1000	975	1500
钻 机 净 重 (kg)	420	380	530	950	1035	1400	1330	1550	1560	3500
功 率 (kW)	5.9	10	16.2	24.3	20	29.4	27.1	35.3	30	58.8
重 量 系 数 (m/kg)	0.24	0.58	0.57	0.53	0.50	0.43	0.55	0.65	0.63	0.43
功 率 系 数 (m/kW)	17	22	18.5	20.6	26	20.4	26.8	28.3	32.5	25.5
重 量 功 率 系 数 (kg/kW)	71	38	33	39	52	48	49	44	52	60
钻 杆 直 径 (mm)	43	AQ	AQ	53	AQ	53	BQ	53	BQ	56

注: ①AQ钻杆外径为44.5mm, BQ钻杆外径为55.6mm

②●表示可比性较好的机型

四、动力机的功率和转速

动力机的功率和转速是根据钻机的工作负荷和运动速度,并考虑动力机的来源而确定的。

衡量钻机消耗功率的大小,是以功率系数进行比较的。功率系数等于钻机的公称钻深(m)与钻机配备功率(kW)之比。我国XY系列岩心钻机与美国“长年”系列钻机功率系数对比见表1-5。

一般情况,浅孔钻机的功率系数小,中深孔钻机较大,深孔钻机则又有所降低,但总的变化范围不大,在15—35之间。

目前,我国钻机配备的动力机主要有两种:柴油机和电动机。设计时应考虑两种类型动力机的互换性。钻机出厂时,一般都配有固定型号的动力机,使用过程中,如需改变动力机的类型时,其驱动功率及转速应基本符合钻机技术性能的要求。

以上介绍的钻机主要技术性能,在设计及评价钻机时,除需单独考虑每项参数外,还应把各项参数联系起来进行综合分析。

第四节 钻机所需的功率

钻机工作时,功率主要消耗在三个方面:钻进所需的功率 $N_{\text{钻}}$ 、提升所需的功率 $N_{\text{升}}$ 及钻机传递动力所消耗的功率 $N_{\text{传}}$ 。

钻机所需的功率值是设计和选择设备及工具的重要依据。由于钻探生产中钻进和钻具提升不是同时进行,钻机所需功率要视 $N_{\text{钻}}$ 与 $N_{\text{升}}$ 哪一个大来决定。通常,浅孔钻机钻进破碎岩石的功率要大于提升功率,而深孔钻机的功率的确定主要取决于钻具提升功率。钻进功率的大小与岩心性质、孔深及钻头直径有关;提升功率取决于钻具重量及提升速度。

近几年来,国内、外都比较重视对钻机各项功率的研究。提出了不少理论和公式,但至今还没有一种可用于实践的理论基础及计算公式。那么,这一问题仍然是钻探科技工作者的研究课题。下面介绍一些常见的计算钻机功率的公式,以助于对这一问题的深入研究。

一、钻进所需的功率 $N_{\text{钻}}$

钻进所需的功率包括:孔底所需功率(钻头所需功率) N_1 和回转钻杆所需功率 N_2 。即,

$$N_{\text{钻}} = N_1 + N_2$$

(一) 孔底所需功率 N_1 的计算

1. 硬合金钻进时,孔底所需功率

硬合金钻进时,孔底所需功率包括切削钻具破碎岩石消耗的功率 N_p 及钻头与孔底摩擦所消耗的功率 N_m 。

$$N_1 = N_p + N_m \quad (1-1)$$

破碎岩石所需功率 N_p 可用下式计算,

$$N_p = \frac{\sigma \cdot m \cdot h^{0.75} F n}{22.4} \quad (\text{W}) \quad (1-2)$$

式中 σ ——单向压缩情况下,岩石的抗压强度极限,见表1-6, MPa;

m ——钻头上合金组数,或刮刀钻头刀片数目;

F ——孔底的破岩面积。即 $F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$,

其中 D, d ——钻头的内外径, m;

n ——钻头转速, r/s;

h ——每组合金或一个刀片每转吃入深度, m; $h = \frac{V}{mn}$

V ——平均钻速, m/s。

钻头与孔底摩擦所消耗的功率 N_m 可按下式计算,

$$N_m = \frac{f c n (R^3 - r^3)}{1432 (R^2 - r^2)} \quad (\text{kW}) \quad (1-3)$$

式中 n ——钻头转速, r/min;

c ——钻压, kN;

f ——钻头与岩石的摩擦系数,见表1-7;

R ——钻头外圆半径, cm;

r ——钻头内孔半径, cm。

表1-6 岩石单向抗压强度

岩石名称	抗压强度 σ MPa	岩石名称	抗压强度 σ MPa
花岗岩、闪岩、辉岩、玄武岩	80—250	砂岩	
正长岩、玢岩、片麻岩	150—200	致密砂岩(石英岩)	300—500
闪长岩、辉绿岩	100—300	硅质胶结砂岩	>200
辉长岩	120—360	石灰质胶结砂岩	20—100
石英岩、玄武岩	200—500	硬石	>300
玄武质熔岩	30—150	硬石膏	<120
碳酸盐类岩石(石灰岩、白云岩)		泥质板岩	<100
粗结晶的	5—120	泥板岩	>200
致密的	<260	页岩	30—70
有机的	<100	煤	20

表1-7 钻头与岩石的摩擦系数

岩石名称	花岗岩	石英砂岩	石灰岩	泥质岩	粘土
摩擦系数(f)	0.3—0.4	0.35—0.5	0.25—0.35	0.20—0.30	0.12—0.20

2. 金刚石钻进时, 孔底所需功率

随着金刚石钻进技术的迅速发展, 近年来, 国内、外科学工作者对金刚石钻进孔底所需功率进行了研究, 提出了不少在野外某特定条件下或实验室条件下计算金刚石钻进孔底功率的公式。这些公式基本上都是在特定条件下得出的, 局限性较大, 而且与实测结果相差较大, 还不能用于计算实际的孔底功率。下面仅介绍两种常见的计算公式。

苏联的科尔尼洛夫认为细粒金刚石钻头(孕镶钻头)钻进时, 钻头的功率主要是消耗于钻头与岩石的摩擦, 因此, 提出下面的计算公式:

$$N_1 = \frac{t e f C n (R^3 - r^3)}{1432 (R^2 - r^2)} \quad (\text{kW}) \quad (1-4)$$

式中 t ——破碎岩石用的功率系数, $t=1.25$;
 e ——与孔斜、钻杆垂直度和其它有关的系数, $e=1.1—1.3$;
 f ——金刚石与岩石之间的摩擦系数, $f=0.4$;
 C ——轴向载荷, kN;
 n ——钻头回转速度, r/min;
 R, r ——钻头的外半径及内半径, cm。

苏联的卡腊切夫认为确定细粒金刚石钻头回转功率时, 应考虑主要与岩石的物理机械性质、钻头上金刚石的浓度、金刚石质量和金刚石在胎体中的分布有关的机械钻速, 他提出下列计算公式:

$$N_1 = \frac{K [16 \sigma V (R^2 - r^2) + f C (R + r) n]}{19.1 \times 10^3} \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

式中 K ——取决于钻头结构的经验系数;
 σ ——岩石的抗剪强度极限, Pa;
 f ——金刚石与岩石的摩擦系数, $f=0.2$;
 V ——机械钻速, m/min;
 n ——钻头回转速度, r/min;

C ——轴向载荷, N ;
 R ——钻头外半径, m ;
 r ——钻头内半径, m 。

3. 孔底功率的近似计算

当进行孔底功率的近似计算时, 可采用下面经验公式,

$$N_1 = N_d F \quad (W) \quad (1-6)$$

式中 N_d ——单位面积消耗功率; 合金和金刚石钻头钻进时, $N_d = 50 \times 10^4 W/m^2$ —
 $150 \times 10^4 W/m^2$ (与钻压、转数和钻速有关), 钢粒钻进时 $N_d = 15 \times 10^4$
 W/m^2 ;

F ——孔底面积, m^2 。

(二) 回转钻杆所需功率 N_2

大口径钻进时, 回转钻杆所需功率可采用苏联的费德洛夫和浦留夏二公式计算,

费氏公式 $N_2 = \alpha r d L n \quad (kW) \quad (1-7)$

浦氏公式 $N_2 = 1.15 \times 10^{-2} r L n^{1.8} \quad (kW) \quad (1-8)$

式中 r ——泥浆重度, kg/m^3 ;

L ——钻杆长度, m ;

d ——钻杆直径, m ;

n ——回转器转速, r/min ;

α ——系数, 与孔斜有关, 直井时 $\alpha = 18.8 \times 10^{-5}$ 。

应当指出的是, 当转速低于 $200-140 r/min$ 时, N_2 的计算值低于实测值。

对于 $\phi 50mm$ 锁接箍钻杆钻进 $\phi 91mm$ 钻孔时, 回转钻杆所需功率可用下式计算:

$$N_2 = (2.3n^2 + 3.12 \times 10^{-5} n) L^{0.68} K_1 K_2 \quad (W) \quad (1-9)$$

式中 n ——钻杆转速, r/s ;

L ——钻杆柱长度, m ;

2.3和3.12——比例系数。与管径、管子质量、连接形式、冲洗液种类、孔壁间隙、管子与岩石的摩擦系数等有关;

K_1 ——钻进定向孔和垂直开孔而平均弯曲率在 0.04 度/ m 以下的钻孔使空转功率增加系数。

$$K_1 = 1 + 0.35 \times (100f)^{1.43}$$

对于倾斜角为 87° 的钻孔, 计算空转功率时必须考虑系数 K_2 (此时 $K_1 = 1$)。

当 $f = 0.01-0.02$ 度/ m 时, $K_2 = 0.75n^{0.25}$

当 $f = 0.05$ 度/ m 时, $K_2 = 0.94n^{0.25}$

对于直径为 $50mm$ 的钻杆钻进 $\phi 76mm$ 的钻孔以及用 $\phi 50mm$ 接头连接的钻杆钻进 $\phi 59mm$ 钻孔时, 回转钻杆所需功率可用下式计算:

$$N_2 = 0.64 L n^2 \sqrt{n} \quad (W) \quad (1-10)$$

式中 L ——钻杆柱长度, m ;

n ——钻杆转速, r/min 。

为了减少孔壁摩擦, 采用专门的润滑剂或乳化液时, 回转钻杆功率消耗降低 30% ;

$$N_2' = 0.7 N_2$$

对于小口径金刚石钻进，由于转速高，钻杆与孔壁间隙小，经常要使用润滑剂，用上面公式计算，误差大，建议采用下面公式计算：

$$N_z = 0.602n^{1.8}L^{0.9} \quad (W) \quad (1-11)$$

式中 N ——钻杆转数，r/s；

L ——钻杆柱长度，m。

此公式适用于 $\phi 50\text{mm}$ 锁接头连接的钻杆。

二、提升所需的功率 $N_{\text{升}}$

提升钻具时所需的功率可用下式计算：

$$N_{\text{升}} = \frac{Q_{dg} V_{dg}}{\eta} \quad (kW) \quad (1-12)$$

式中 Q_{dg} ——提引器（大钩）载荷，kN；

V_{dg} ——提引器上升速度，m/s；

η ——滑车系统效率。

三、钻机传递动力损失的功率 $N_{\text{传}}$

钻机工作时，由于自身各种阻力造成功率消耗。而功率消耗大小与钻机的制造质量，磨损程度有关。一般很难精确计算，多采用经验公式。

$$N_{\text{传}} = A + Bn \times 10^{-3} \quad (kW) \quad (1-13)$$

式中 A ——钻机中与转速无关的传动零件功率损失系数；

B ——钻机中与转速有关的传动零件功率损失系数；

n ——转数，r/min；

A 和 B 值见表1-8。

表1-8

传 动 功 率 kW	系 数 值		传 动 功 率 kW	系 数 值	
	A	B		A	B
3.7	0.15	0.074	30	1.05	0.82
10	0.23	0.23	45	1.87	1.12
19	0.72	0.56	60	2.02	1.57

根据上述计算，可以初步确定钻机应配备的动力机的功率。因钻进和提升非同时进行，所以，应根据二者中最大者来确定钻机的功率。

$$N_{\text{机}} = \frac{N_{\text{传}} + N_{\text{升}}}{\eta} \quad (1-14)$$

$$\text{或} \quad N_{\text{机}} = \frac{N_{\text{传}} + N_{\text{钻}}}{\eta} \quad (1-15)$$

式中 η ——动力机至钻机间的传动效率。

思 考 题

1. 根据钻探工艺的要求，钻机应具备哪些基本机构和满足哪些要求？
2. 钻进能力参数如何确定？
3. 研究钻机的功率有何意义？你对钻机功率的研究有何见解？