GDZ－300L 型履带式全液压多功能钻机的设计

奎 中[1]，何 磊[2]，林下斌[1]，沈怀浦[2]，李子章[1]，黄晓林[1]
(1. 中国地质科学院探矿工艺研究所，四川 成都 611734；2. 中国地质装备总公司，北京 100102)

摘 要：主要介绍了 GDZ－300L 型履带式全液压多功能钻机总体结构设计、动力机的确定、液压系统设计、机械传动系统设计、主要技术参数等内容。样机试制和野外生产试验结果表明：该钻机结构紧凑、质量轻、钻进能力强、可靠性高。

关键词：全液压钻机；地质灾害；治理
中图分类号：P634.3⁺1 **文献标识码**：A **文章编号**：1672－7428(2013)07－0088－05

Design of GDZ－300L Multi-functional Fully Hydraulics Track-mounted Rig/*KUI Zhong*[1], *HE Lei*[2], *LIN Xia-bin*[1], *SHEN Huai-pu*[2], *LI Zi-zhang*[1], *HUANG Xiao-lin*[1] (1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China; 2. China Geo-equipment Corporation, Beijing 100102, China)

Abstract: This paper mainly introduced the GDZ－300L multi-functional fully hydraulics track-mounted rig about its general structure design, power machine selection, hydraulic system design, mechanical drive system design and the main technical parameters, etc.. The prototype trial-production and the field application tests showed that GDZ－300L drilling machine has the advantages of compact structure, light weight, good drilling ability and high reliability.

Key words: fully hydraulic rig; geological hazard; hazard control

1 概述

据国土资源部全国地质灾害通报多年的统计，滑坡、崩塌是发生频率最高的地质灾害，危害极大。崩塌和滑坡的物质经常是泥石流的重要固体物质来源，易发生滑坡、崩塌的区域也易发生泥石流。滑坡、崩塌还常常在运动过程中直接转化为泥石流，或者滑坡、崩塌发生一段时间后，其堆积物在一定的水源条件下生成泥石流。

因此，必须加强滑坡、崩塌等地质灾害应急抢险关键技术的研究，研制专门的地质灾害应急抢险快速成孔钻机及其配套器具，研究先进、高效的钻进技术及施工工艺，提升我国地质灾害应急抢险的技术水平，以避免或最大程度地减轻灾害造成的损失，维护人民生命、财产安全和社会稳定。

地质灾害应急抢险的关键是快速成孔，目前，我国还没有专门用于地质灾害应急抢险的钻进设备，使用的钻进设备是在钻探或边坡治理工程施工中使用的，都是专门的岩心钻机或锚固工程钻机，功能单一，多工艺适应性差，无法满足地质灾害应急抢险工作需要的高效、便捷和多工艺适应性强的要求。迫切需要研制适合我国国情的、专门用于地质灾害应急抢险的、轻便、高效多功能钻进设备，为我国突发性地质灾害应急抢险工作提供有力的技术支持。

GDZ－300L 型履带式全液压多功能钻机正是一种专门用于地质灾害应急抢险的轻便、高效履带式多功能钻进设备，满足地质灾害应急抢险中采取抗滑桩快速治理，以及生命通道救援孔的快速开通等工作中快速成孔的需要。钻机能实现气动潜孔锤钻进、潜孔锤跟管钻进、常规回转钻进等多种钻进工艺，主要用于救援钻孔快速成孔和微型桩孔快速成孔，也可用于水井钻进、地源热泵空调工程地埋管井钻进等。孔径 150 mm 潜孔锤钻进时、可钻凿孔深 300 m，Ø273 mm 套管潜孔锤跟管钻进时、可钻凿孔深 45 m。

2 钻机的设计

2.1 技术路线

本项目的总体技术路线是：借鉴成熟技术和自主研究开发相结合。既要利用现有国内外相近工程钻机的成熟技术和经验，确保项目完成的质量，缩短研究开发的周期，又要在成熟技术和经验的基础上，充分考虑我国地质灾害应急抢险的特点大胆创新，研制出地质灾害应急抢险快速成孔钻机。

2.1.1 借鉴国内外先进机型

收稿日期：2013－06－15
基金项目：中国地质调查局地质大调查项目“深厚覆盖层大直径跟管快速钻进工艺应用示范”(12120113097000)
作者简介：奎中(1964－)，男(汉族)，云南弥渡人，中国地质科学院探矿工艺研究所高级工程师，探矿工程专业，从事岩土钻掘设备与器具方面的产品研究开发工作，四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路 139 号。

选取国内外多功能钻机、轻型水井钻机、地源热泵钻机等为参考对象,如美国宝长年公司的 DB 系列,意大利卡萨特兰地公司的 C 系列,瑞典阿特拉斯· 柯普科公司的 mustang 系列、TH 系列,德国宝峨 KLEMM 公司的 KR 系列,国内的 MDL 系列、YGL 系列等等,对以上众多机型的液压系统、重要部件及其管路系统进行深入研究,吸收优势因素,设计出能满足地质灾害应急抢险快速成孔需要的多功能液压系统和整机结构。

2.1.2　进行部件模块化组合、三维优化设计

在整机液压系统和总体方案确定后进行部件设计,建立部件的三维模型,利用计算机辅助设计软件对于各个部件,如顶驱、履带、给进、桅杆等部件进行结构分析,承载分析,工况分析,动力学仿真分析,重点进行极限状态、交变应力状态以及复杂工况条件下的综合分析,确定部件的优化方案。在此基础上,进行整机结构分析和样机动态分析,研制出布局科学合理的全液压多功能快速成孔样机。

2.1.3　样机制造及试验测试

在模拟样机的基础上,完成样机制造,并进行厂内各项技术指标的测试和调定。无法达到功能要求的,要对部件或系统进行及时调整,调整后在模拟样机中进行反复分析验证,以获取整机设备更可靠的性能参数目标。最后进行样机野外生产试验,对样机进行全面的考核验证,在试验的基础上进行设计改进。

2.2　钻机的结构组成

GDZ－300L 型履带式全液压多功能钻机结构设计采用借鉴国内外类似钻机的成熟结构和自主创新相结合,主要包括 5 大部分:动力机、履带行走机构、回转装置、给进机构和液压传动系统。具体由桅杆、动力头、液压油箱、滑架、绞车、动力头托架、平台、机罩、履带、大工具箱、液压系统、操作台、柴油箱、气控系统、电瓶盒、电气系统、行走操作台、发动机、桅杆支架、后支腿、前支腿、桅杆撑杆、提引机构等 26 个部件组成。钻机外形参看图 1。

2.3　钻机液压系统的设计

GDZ－300L 型钻机液压系统以油液为介质、利用液压泵将发动机的机械能转化为液压能,然后通过液压缸、马达等执行元件将液压能转化为机械能,从而实现钻机的各种动作,包括履带行走、动力头回转、动力头快速升降、给进、绞车升降、孔口卸扣、支腿调平、桅杆起落、桅杆滑移等,所有动作均由液压驱动,是一种动作相对较多的钻机。这些主要动作

图 1　GDZ－300L 型钻机外形图

经常起动、制动、换向,外负载变化很大,冲击和振动多,因此钻机对液压系统提出了很高的设计要求。

GDZ－300L 型钻机的液压系统由液压油箱、液压油泵(三联泵)、液压马达、液压阀、硬管、胶管、滤油器及压力表等液压元件组成。主系统为负载反馈控制系统,柱塞变量泵根据远程压力控制泵的流量,主阀采用 LS(Load Sense)负载反馈多路阀。2 个主泵分别与 2 个主阀组成主系统。

这种控制模式的最大优点是节能,实现了主泵按照执行元件实际需要(速度快慢)调节排量,不需溢流。利用此系统可以有效地消除操纵手柄处于中位时系统产生的空流损失。通过油泵将液压油压缩,用溢流阀调定系统压力,换向控制油缸的运行方向或液压马达的转向来完成钻机要求的各种动作,通过双泵合流完成钻具的快进、快退、回转。调节调速阀,确定回转速度,保证钻孔时的钻具回转速度;调节减压阀,确定推进压力,保证钻孔时冲击器所受轴压为最佳值,安全阀调定压力高于系统压力值。

辅助回路采用齿轮定量泵系统,主要控制给进、卸扣油缸、起塔油缸、钻塔滑移油缸及支腿油缸。通过 2 个溢流阀分别控制给进油缸上下腔的压力,从而控制孔内钻头压力。利用齿轮泵的回油来驱动系统散热器风扇马达,可省去一个泵,简化系统。

2.4　钻机动力机的确定

2.4.1　液压功率

发动机带动 3 个液压泵,2 个排量为 38 cm^3/r,液压泵为负载变量泵可调速,再串接一个排量为 22 cm^3/r 齿轮定量泵。两变量泵最大压力为 27 MPa;齿轮泵设定最大压力为 24 MPa。其中 2 个 38 cm^3/r 排量泵合流后最大流量为 160.5 L/min,22 cm^3/r 排量泵最大流量为 46.5 L/min。最大压力时,2 个主泵的最大驱动功率分别为 39.2 kW,22 cm^3/r 排量泵的最大驱动功率 20.2 kW,最大驱动扭矩分别为 170、170 及 87.4 N· m。不允许长期在发动机转速为 2200 r/min,主泵输出压力为 27 MPa 的满负载工

况下工作。

2.4.2 发动机选型

驱动 3 个泵的最大功率之和为 98.6 kW(不能长期工作),所以动力机选择康明斯 4BTA3.9 - C125 功率为 93 kW,2200 r/min 时输出扭矩为 404 N·m 的柴油发动机,输出扭矩略小于 3 个泵最大驱动扭矩之和 427.4 N·m。考虑到发动机还要损失些风扇散热功率,3 个泵不会同时处于最大功率点,故所选发动机的总功率及驱动扭矩均能满足工作需要。

2.5 钻机机械传动系统设计

2.5.1 钻机动力头的设计

动力头由 2 个低速大扭矩马达驱动,如图 2 所示,两马达同步驱动 2 个小齿轮,小齿轮同步驱动大齿轮,实现一级减速,小齿轮对称布置在大齿轮两侧,大齿轮通过平键将扭力传递给主轴,主轴连接钻具,从而驱动钻杆回转。通过串并联阀给动力头马达供油,使动力头可以实现两挡调速。动力头马达串联时为高速、小扭矩;马达并联时为低速、大扭矩。

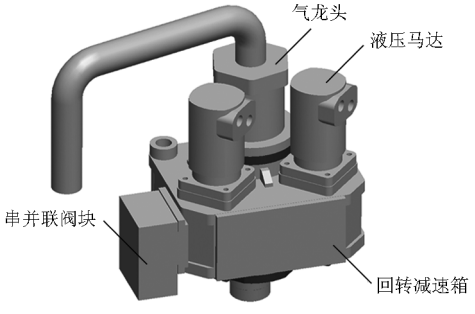

图 2 动力头

串联马达处于高速输出时对应的输出转速为:

$$n_{max} = 1000 Q\eta_v / V_g \quad (r/min)$$

式中:Q——系统流量;η_v——马达容积效率,取 0.95;V_g——马达最大排量,取 390 mL/r。

对应的输出扭矩:

$$T = 1.59 V_g \Delta p \eta_{mh} / 100 \quad (N\cdot m)$$

式中:Δp——压力差,bar;η_{mh}——马达机械效率,取 0.96。

马达输出转速、扭矩(串联时)见表 1。

动力头传动比:

$$i = Z_2 / Z_1 = 55/21 = 2.62$$

动力头转速:

$$n = n_{马达} / i \quad (r/min)$$

式中:i——动力头传动比;$n_{马达}$——马达输出转速,r/min。

动力头扭矩:

表 1 马达输出转速、扭矩(串联时)

压力 /MPa	发动机转速 /(r·min^{-1})	马达输出转速 n_{max} /(r·min^{-1})	马达输出扭矩 T /(N·m)
27	2200	391	803.6
	2000	355.6	
	1600	284.3	
21	2200	391	625
	2000	355.6	
	1600	284.3	

注:表中为串联时的马达输出转速、扭矩。串联时两马达均分压力,并联时输出转速减半、扭矩增倍。

$$T = T_{马达} i \eta \quad (N\cdot m)$$

式中:$T_{马达}$——马达输出扭矩,N·m;η——动力头机械效率,按 96% 计算。

动力头转速、扭矩(额定压力 21 MPa 时)见表 2。

表 2 动力头转速、扭矩(额定压力 21 MPa 时)

高低档模式	发动机转速 /(r·min^{-1})	转速 n /(r·min^{-1})	扭矩 T /(N·m/kgf·m)
马达串联	2200	149.2	3144/320.8
	2000	135.7	
	1600	108.5	
马达并联	2200	74.6	6288/641.6
	2000	67.8	
	1600	54.2	

注:压力 27 MPa 并联时,动力头输出扭矩 8084.6 N·m(825 kgf·m),此工况只能间歇使用,不可长时间高压运行。

在动力头设计时,除对动力头主要参数转速和扭矩进行了计算,对动力头主要零件:齿轮、齿轮轴、主轴、轴承等进行了强度校核计算,对主轴和箱体还进行了有限元分析,分析计算结果表明:这些零件强度足够,非常安全。

2.5.2 钻机给进机构设计

图 3 为给进机构结构图,由桅杆、给进油缸、拖链、滑板和动力头托板组成。GDZ - 300L 型钻机的桅杆给进系统采用油缸缸体上直接安装链轮和导向轮方式,同时采用开口式桅杆,减少了链轮安装部件及桅杆的材料用量,整个桅杆给进系统质量轻、体积小,可实现倍速给进;动力头在中空的桅杆内滑行,可以有效地降低动力头的位置,降低钻机整体重心;采用复合导轮滑动,滑动效果好,可保证给进油缸在固定轨道内灵活运动;油缸无杆腔进油提升,可实现很大的提升力。

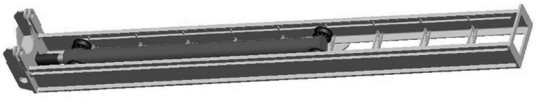

图 3 给进机构结构

图 4 为给进机构的原理图。动力头装在拖板上,给进油缸杆端固定,链轮装在缸筒上下两端位置。图中右侧为上,当图中给进油缸无杆腔进油,缸筒向右移动,链轮带动链条拉着拖板、动力头向右走,实现起拔;当图中给进油缸有杆腔进油,缸筒向左移动,链轮带动链条拉着拖板、动力头向左走,实现给进。给进机构为动滑轮组倍速机构,动力头行程为油缸行程的 2 倍。

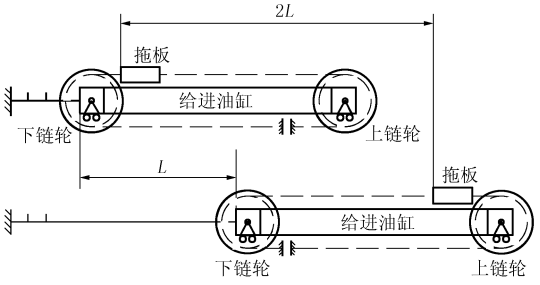

图 4　给进机构原理

给进行程:

$$H = 2L = 2 \times 1800 = 3600 \quad (\text{mm})$$

式中:L——给进油缸行程,1800 mm。

给进力:

$$F_{给进} = \pi \frac{D^2 - d^2}{4 \times 1000} \cdot \Delta p \cdot \frac{\eta}{2}$$
$$= 3.14 \times (125^2 - 90^2) \times 25 \times 0.8/8000$$
$$= 59\ \text{kN} = 6\ \text{t}$$

式中:D——给进油缸缸径,125 mm;d——给进油缸杆径,90 mm;Δp——给进油缸压差,25 MPa;η——油缸链条机械效率,按 0.8 计算。

起拔力:

$$F_{起拔} = \pi D^2 \Delta p \eta / 8000$$
$$= 3.14 \times 125^2 \times 25 \times 0.8/8000$$
$$= 122\ \text{kN} = 12.4\ \text{t}$$

给进机构设计时,除对给进行程、给进力、起拔力进行计算外,还对油缸压杆稳定、起重链安全系数等进行了计算,对桅杆主梁进行了有限元分析。计算和分析结果表明:给进机构的性能参数符合设计要求,给进机构的主要零件非常安全。

2.6　钻机主要技术参数

GDZ－300L 型履带式全液压多功能钻机主要技术参数见表 3。

与国内同类型且质量相当的履带式全液压多功能钻机相比,GDZ－300L 型钻机的钻深能力、最大钻孔直径、最大起拔力、动力头最大扭矩等主要性能指标均有较大的优势。

表 3　GDZ－300L 型钻机主要技术指标

项目			技术指标
钻深能力/m	Ø150 mm 潜孔锤钻进时		300
	Ø273 mm 套管潜孔锤跟管钻进时		45
发动机	柴油机型号		康明斯 4BTA3.9－C125 3.9L/4 缸涡轮增压,水空中冷
	功率/额定转速/kW/(r·min^{-1})		93/2200
动力头	转速/扭矩/(r·min^{-1})/(N·m)	高速挡	0～148/0～4042.3
		低速挡	0～74/0～8084.6
	调速方式		液控比例手柄调速
	适用钻杆/mm		Ø89(114)×3000
给进系统	给进行程/mm		3600
	给进力/kN		59
	提升力/kN		122
	快升速度/(m·min^{-1})		20.5
	快进速度/(m·min^{-1})		42.7
	慢升速度/(m·min^{-1})		7.5
	慢进速度/(m·min^{-1})		15.6
	桅杆倾角/(°)		90～45
	桅杆滑架行程/mm		1100
液压系统	流量/压力/(L·min^{-1})/Pa	主泵	80＋80/27
		辅助泵	46/24
绞车	提升力/kN		15
	容绳量/m		25(Ø8 mm 钢丝绳)
	提升速度/(m·min^{-1})		30(第一层);33(第二层)
履带行走	速度/(km·h^{-1})		1.73～3.35
	爬坡能力/(°)		0～20
调平装置			4 条液压支腿
整机质量/kg			约 6500
外形尺寸/mm			5956×2050×2615(运输状态)

3　样机试制和野外生产试验

3.1　样机试制

GDZ－300L 型履带式全液压多功能钻机主要由 26 个部件组成,由于只试制 1 台样机,所有零部件基本上都是单件生产。除履带、发动机、液压元件、标准件等整体外购外,其余 500 多种零部件主要靠自制和定制,为保证样机的质量,钻机液压元件、液压胶管及接头均采用国内外优质产品。

2011 年 9 月底,样机开始试制,2012 年 3 月初,试制样机开始组装,装配过程中,严格按照产品图纸和《动力头装配要求》、《GDZ－300L 型钻机装配指南》、《GDZ－300L 型钻机液压系统装配要求》等图纸和技术文件的要求进行装配。利用 RecurDyn 多体动力学仿真软件建立该钻机履带行走装置的虚拟样机模型,在 RecurDyn 环境中整合组装整机并对钻机履带行走进行动力学仿真,分析钻机的行走能力,论证所设计的钻机的行走稳定性。到 2012 年 7 月初,全面完成试制样机的组装调试工作,钻机样机的

各项性能指标均达到了设计要求。

3.2 钻机野外生产试验

2012 年 7 月 16 日 ~8 月 28 日,在中国地质科学院探矿工艺研究所红光基地钻探实验室及实验室旁边的路上,进行了 GDZ - 300L 型钻机样机 Ø273 mm 套管空气潜孔锤跟管钻进试验,在成都市龙泉驿区大面镇成都水文队废厂房院内,进行了 GDZ - 300L 型钻机样机 Ø150 mm 空气潜孔锤钻进试验。红光基地下是 150 多米厚的砂卵石层,成都水文队废厂房院内的地层表面是 7 m 左右的粘土层,下面是几百米深的砂岩。

在钻机野外生产试验中,完成 Ø273 mm 套管潜孔锤跟管钻进试验钻孔工作量 111 m,最大钻深 45 m,平均纯钻进速度 6.61 m/h;Ø150 mm 潜孔锤钻进试验钻孔工作量 501 m,最大钻深 300.5 m,平均纯钻进速度 16.02 m/h,超过了预期目标。在整个生产试验过程中,钻机的液压系统稳定可靠,没有出现过故障,而且由于主系统为先进的负载反馈控制系统,试验期间钻机的柴油消耗量很小。随着操作工人操作熟练程度的提高,钻机的钻进速度越来越快。

4 结论

全液压驱动、执行单元模块化组合、利用三维设计软件进行模拟分析,而后进行有限元分析、动力学仿真分析,及时发现设计缺陷并优化设计的设计理念,使 GDZ - 300L 型钻机实现了动力头长行程给进,机械化拧卸、无级调速,精确可控桅杆摆角、滑移等特色技术,确保了 GDZ - 300L 型钻机具有质量轻、易分解组装、移动搬迁方便、钻进能力强等特性,确保整机具有良好的可靠性,缩短了钻机研制的周期。

通过样机试制和野外生产试验,钻机液压系统的设计、钻机桅杆、动力头、液压油箱、滑架、绞车、平台、操作台等各部件的结构设计以及钻机的各项技术性能指标、适应性和可靠性都得到了全面验证,展现了 GDZ - 300L 型钻机具有以下突出特点:

(1)钻机回转扭矩大,动力头马达串并联可实现两挡无级变速;

(2)采用油缸链条倍速机构,使钻机结构紧凑,起拔力大;

(3)桅杆整体滑移,实现落地支撑,增强了施钻的稳定性;

(4)桅杆可变角度,打斜孔可加撑杆,改善了结构件的受力状况;

(5)钻机液压系统采用先进的负载传感控制系统和进口元器件,操控灵活,节约能源,可靠性高;

(6)履带装载移位便利,便于整体搬迁,快速就位;

(7)钻机质量轻,钻孔直径大,钻孔深度深。

在野外生产试验中也暴露出钻机存在的一些问题,需要在今后的研究工作中不断改进完善,使 GDZ - 300L 型履带式全液压多功能钻机真正成为一种用于地质灾害应急抢险的轻便、高效履带式多功能钻进设备。

参考文献:

[1] 奎中,何磊,林下斌,等. 地质灾害应急抢险快速成孔钻机的研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,2013,24(S1).

[2] 路甬祥. 液压气动技术手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.

[3] 成大先,等. 机械设计手册(第五版)第 3 卷—齿轮传动[M]. 北京:化工工业出版社,2010.

[4] 成大先,等. 机械设计手册(第五版)第 5 卷—液压传动[M]. 北京:化工工业出版社,2010.

我国深部探铀技术获重大突破 钻深突破 2818 m

《中国矿业报》消息(2013 - 07 - 22) 中国核工业集团公司 7 月 17 日在江西抚州宣布,我国铀矿第一科学深钻以 2818.88 m 的钻探刷新此前 1200 多米的纪录。这一突破填补了我国铀矿深部找矿技术的空白,对提高国内天然铀保障程度、满足核电发展需要意义深远。

这一深部找矿技术的突破是在被称为中国“铀都”的江西抚州相山铀矿大基地取得的。自 2012 年 7 月 21 日开钻以来,中核集团、核工业北京地质研究院等共用时 283 天,在大小仅为普通光盘的 2 倍的深钻“点”实现 2818.88 m 钻探深度。其岩芯采取率达到 99% 以上,最大限度地获取了地球深部成矿的条件和环境信息。这也对我国目前最大的铀矿田做了一次“地质 CT 扫描”。

除了找矿深度刷新纪录外,此次深部找矿在装备上采用自主研发的钻探设备,其智能化、数字化水平填补了国内空白;在钻探工艺方面也取得首次发现铀铅锌铜多金属矿、首次创建岩芯矿化蚀变高光谱识别技术等成果。

大陆科学深钻被称为“深入地球内部望远镜”。长期以来,我国铀矿勘查的深度多在 500 m 以浅,与法国、德国、加拿大等国外深部找矿技术差距较大。此次深部找矿技术的突破极大地拓展我国铀资源的找矿空间,也为我国进一步深挖地下 3000 m 的资源宝藏打下基础。