

GBS-55 型水平定向钻机液压系统的设计

肖志强, 刘 广, 张正元

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:介绍了 GBS-55 型水平定向钻机的组成及其特点。针对 GBS-55 型水平定向钻机主要机构的动作特点及实际工况等设计了该钻机的液压系统。分析了该钻机液压系统的主要特点,根据该液压系统的设计参数进行了主要液压元件的设计计算及选型。实际应用证明该液压系统负载适应性强,稳定高效。

关键词:GBS-55 型水平定向钻机;液压系统;设计选型;非开挖技术

中图分类号:P634.3⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)06-0046-04

Design of Hydraulic System of GBS-55 Horizontal Direction Drilling Machine/XIAO Zhi-qiang, LIU Guang, ZHANG Zheng-yuan (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: The paper introduces the composition and characteristics of GBS-55 horizontal directional drilling machine. According to the operating characteristics of main mechanism of GBS-55 horizontal directional drilling machine and the actual working conditions, the hydraulic system was designed. The main features of this hydraulic system were analyzed and based on the design parameters of the hydraulic system, the design calculation and selection of the major hydraulic components were carried out. The practical application shows that this hydraulic system is stable and efficient with strong load adaptability.

Key words: GBS-55 horizontal directional drilling machine; hydraulic system; design selection; trenchless technology

0 引言

非开挖铺管技术是国外 20 世纪 80 年代中后期发展起来的一项管道施工新技术。非开挖是指利用各种岩土钻掘设备和技术手段,通过导向、定向钻进等方式在地表极小部分开挖的情况下(一般指入口和出口小面积开挖),敷设、更换和修复各种地下管线的施工新技术,不会阻碍交通,不会破坏绿地、植被,不会影响商店、医院、学校和居民的正常生活和工作秩序,解决了传统开挖施工对居民生活的干扰,对交通、环境、周边建筑物基础的破坏和不良影响,因此具有较高的社会经济效果。

水平定向钻机作为非开挖技术中最为有效的施工设备,它广泛应用于供水、电力、电讯、天然气、煤气、石油等管线铺设施工中,多应用于闹市区、古迹保护区、农作物和植被保护区、公路、铁路、河流、湖泊等地区管线的施工,适用于沙土、粘土、卵石等地层。水平定向钻机具有施工速度快、施工精度高、成本低等优点。在近十几年间获得了飞速发展,逐渐成为了一种新兴的产业。

20 世纪 90 年代初期,我国用于导向钻进非开

挖铺管的设备和技术完全依靠进口。进入 90 年代以后,我所率先在国内研发这项技术,经过多年的发展,我所形成了以 GBS 系列为代表的水平定向钻机系列产品。

目前,我国新型城镇化正步入快速建设阶段,预计到 2020 年城市化水平将达到 60%,每年大约需要铺设 10 万 km 的市政管线。市政管线以电力、通讯、供水、燃气管道为主,多为中等难度施工,在城市里作业,这就要求施工所用钻机体积小吨位大。然而目前市场上大部分水平定向钻机都是大吨位大体积,小体积小吨位。所以市场急需一款小体积、大吨位、高效率的水平定向钻机。为了满足市场需求,我所研制出 GBS-55 型水平定向铺管钻机。

1 GBS-55 型钻机简介

1.1 总体布局

如图 1 所示,GBS-55 型钻机各机构整体布置在由液压马达驱动的刚性连接的底盘上,通过操作远程控制手柄,实现钻机行走。其主要机构包括:动力系统、动力头回转及推拉机构、夹持器机构、地锚

收稿日期:2015-05-28;修回日期:2015-06-10

作者简介:肖志强,男,汉族,1987 年生,助理工程师,从事非开挖技术装备及地质装备研发工作,河北省廊坊市金光道 77 号,axiao2527@163.com;刘广,男,汉族,1986 年生,助理工程师,从事非开挖技术及装备研发工作,715109002@qq.com;张正元,男,汉族,1987 年生,助理工程师,从事定向钻探施工工作,yuan1987_2007@126.com

板、泥浆泵、随车吊、油箱等。



图 1 GBS-55 型钻机

1.2 主要组成机构介绍

1.2.1 动力系统

发动机是整个设备的动力来源,该钻机采用康明斯 239 kW 柴油机,动力强劲。液压泵组通过联轴器与发动机相连,为整个设备提供动力。

1.2.2 动力头回转机构

4 台斜轴式轴向柱塞马达分别连接行星减速机,4 台行星减速机的输出轴与减速传动箱的输入轴连接,再经过一级齿轮减速,由减速箱输出轴驱动钻杆回转。输出轴中空,其主要功能有:驱动钻杆钻头回转;承受钻进、回拉过程中产生的反力;泥浆进入钻杆的通道。动力头设有卸扣自行浮动机构,以减少对钻杆丝扣的磨损。见图 2。

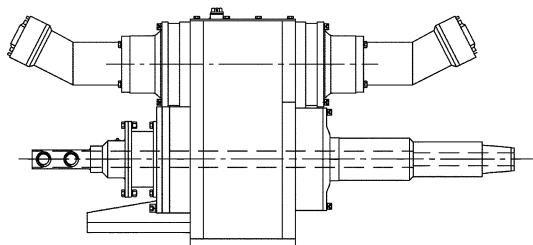


图 2 动力头回转机构示意图

1.2.3 推拉机构

设计采用了齿轮齿条式结构,并设计了双速系统。4 台斜轴式轴向柱塞马达分别连接行星减速机,4 台行星减速机的输出齿轮与齿条配合,实现推拉机构的往返运动。见图 3。

1.2.4 夹持器机构

钻机配有前后夹持器,并且均采用双油缸、双作用的结构,与推拉机构、动力头一起组成一个结构紧凑的一体化系统。夹持器布置在给进机构的前端,在钻机工作过程中,钻杆装卸时对中性的准确与否对钻杆的使用寿命起到很大的作用。因此在前夹持器采用了大小油缸强制对中的结构,使前夹持器在

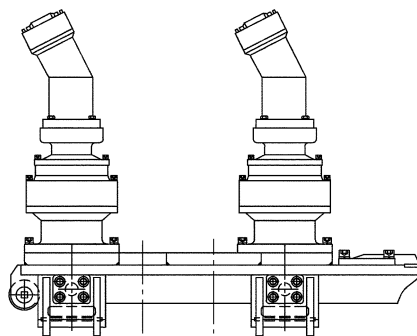


图 3 推拉机构示意图

钻进过程中不仅有夹持钻杆的功能,还可以在钻进中对钻具起到导向扶正的作用。卸扣装置布置在后夹持器上,在油缸的作用下带动夹持器转动角度,施加主动力矩,以实现卸开钻杆第一扣。见图 4。

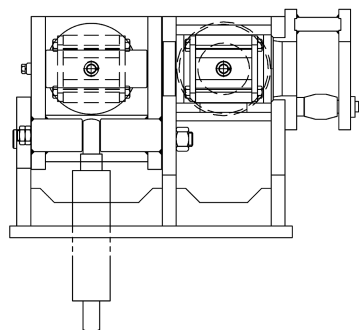


图 4 夹持器机构示意图

1.3 钻机的特点

GBS-55 型水平定向铺管钻机具有结构紧凑、动力强劲、高速高效的特点。操作系统集中在操作驾驶室,采用电液控制,操作方便,改善了司钻人员的工作条件。

1.4 钻机主要性能参数(见表 1)

表 1 GBS-55 型钻机主要性能参数

项 目	单 位	参 数
发动机额定功率	kW	239
额定输出扭矩	N·m	18000
额定推拉力	kN	550
主轴输出转速	r·min ⁻¹	低速 0~55, 高速 0~110
推拉速度	m·min ⁻¹	低速 0~11, 高速 0~22
钻杆	mm	Ø89×4500
钻架调节角度	(°)	8~17
泥浆泵流量	L·min ⁻¹	750
整机尺寸	mm	8650×2280×2700
整机质量	t	17

2 GBS-55 型钻机液压系统原理设计

2.1 系统功能

根据前述 GBS-55 型钻机的工作特点,其液压系统需要完成以下动作:

- (1) 实现动力头机构的回转、推拉;
- (2) 实现钻机行走及泥浆泵控制;
- (3) 实现钻杆夹紧卸扣、支腿、变角等辅助动作;
- (4) 实现吊车动作控制及液压油散热。

GBS-55 型钻机属于中型工程机械,其功率的合理利用对于改善其经济性有重要作用。结合实际

工况,本系统采用闭式与开式混合回路设计。其中功率消耗最大的动力头回转及推拉动作采用闭式回路,其余动作采用开式回路。

2.2 回路设计

根据 GBS-55 型钻机的机构动作特点分析,设计了该钻机的液压系统,其原理示意图如图 5 所示。该钻机的液压系统回路分为以下几个部分。

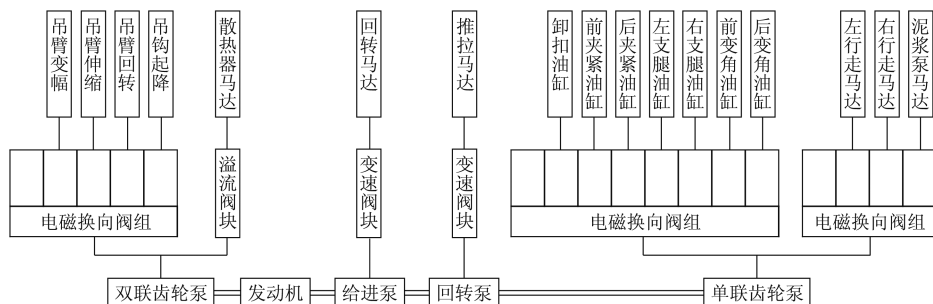


图5 GBS-55 型钻机液压系统原理示意图

(1) 动力头回转回路:该回路为闭式系统,由 1 个闭式变量柱塞泵驱动 4 个定量柱塞马达,实现动力头回转动作,为钻机提供足够的扭矩。这 4 个柱塞马达通过变速阀块实现 2 挡变速满足实际工况需要。

(2) 推拉回路:该回路为闭式系统,由 1 个闭式变量柱塞泵驱动 4 个定量柱塞马达,实现推拉力,为钻机提供足够的推拉力。这 4 个柱塞马达通过变速阀块实现 2 挡变速满足实际工况需要。

(3) 履带行走及泥浆泵控制回路:该回路为开式系统,由 1 个齿轮泵通过电磁阀组分别控制左右行走马达完成行走动作及控制泥浆泵开关动作。

(4) 辅助动作回路:该回路为开式系统,由一个齿轮泵通过电磁阀组控制夹紧卸扣、变角、支腿动作。

(5) 吊车控制及液压油散热回路:该回路为开式系统,由双联齿轮泵第一联供给吊车控制电磁阀组控制吊车各动作,第二联供给散热器液压马达驱动风冷散热器散热。

3 主要液压元件参数的设计计算及选型

根据钻机的主要性能要求,对主要的液压元件进行设计计算及选型。

3.1 设计计算

3.1.1 回转马达排量的计算

动力头输出扭矩:

$$T = 4 \times 0.159 V_{g1} \Delta P i_1 i_2 \eta_1 \quad (1)$$

故单个马达排量:

$$V_{g1} = T / (4 \times 0.159 \Delta P i_1 i_2 \eta_1) \quad (2)$$

式中: T ——动力头最大输出扭矩, $18000 \text{ N} \cdot \text{m}$; ΔP ——系统工作压差, 32 MPa ; i_1 ——回转减速机减速比, 4.25 ; i_2 ——动力头齿轮减速比, 2.84 ; η_1 ——回转总效率, 0.92 。

据式(2)计算得出 $V_{g1} = 79.6 \text{ mL/r}$ 。

3.1.2 推拉马达排量的计算

$$F = 4 \times 0.159 V_{g2} \Delta P i_3 \eta_2 / r \quad (3)$$

故单个马达排量:

$$V_{g2} = Fr / (4 \times 0.159 \Delta P i_3 \eta_2) \quad (4)$$

式中: F ——钻机最大推力, 550 kN ; ΔP ——系统工作压差, 28 MPa ; i_3 ——推拉减速机减速比, 30.4 ; r ——传动齿轮的分度圆半径, 55 mm ; η_2 ——推拉总效率, 0.92 。

据式(4)计算得出 $V_{g2} = 60.7 \text{ mL/r}$ 。

3.1.3 回转泵排量的计算

动力头输出转速:

$$n = Q_1 / (4 V_{g1} i_1 i_2) \times \eta_3 \quad (5)$$

故:

$$Q_1 = 4 n V_{g1} i_1 i_2 / \eta_3 \quad (6)$$

$$V_{g3} = Q_1 / (n_1 \eta_4) \quad (7)$$

式中: Q_1 ——回转泵流量, L/min ; n ——动力头输出转速, 50 r/min ; i_1 ——回转减速机减速比, 4.25 ; i_2 ——动力头齿轮减速比, 2.84 ; V_{g1} ——回转马达排

量,80 mL/r; n_1 ——柴油机转速,2200 r/min; η_3 ——回转马达容积效率,0.98; η_4 ——回转泵容积效率,0.92。

据式(6)计算得出 $Q_1 = 197$ L/min,据式(7)计算得出泵排量 $V_{g3} = 97.4$ mL/r。

3.1.4 推拉泵排量的计算

推拉机构的最大速度:

$$v = 2\pi r n_2 \eta_5 \quad (8)$$

$$n_2 = Q_2 / (4V_{g2} i_3) \times \eta_6 \quad (9)$$

故:

$$Q_2 = (4vV_{g2} i_3) / (2\pi r \eta_5 \eta_6) \quad (10)$$

单泵排量:

$$V_{g4} = Q_2 / (n_1 \eta_7) \quad (11)$$

式中: Q_2 ——推拉泵流量,L/min; v ——4个马达并联时推拉最大速度,11 m/min; V_{g2} ——推拉马达排量,63 mL/r; i_3 ——推拉减速机减速比,30.4; r ——传动齿轮的分度圆半径,55 mm; n_2 ——推拉马达输出转速,r/min; η_5 ——机械效率,0.98; η_6 ——给进马达容积效率,0.95; η_7 ——给进泵容积效率,0.92。

据式(10)计算得出 $Q_2 = 262$ L/min,据式(11)计算得出单泵排量 $V_{g4} = 129$ mL/r。

3.2 主要液压元件的选型

3.2.1 液压泵的选型

液压泵是液压系统中的动力元件。选型需充分考虑泵的可靠性、寿命、维修性等因素,以便所选的泵能在系统中长期运行。本系统中回转及推拉回路所采用的液压泵为闭式变量泵,不同品牌的闭式泵其特性也有很大差别。选择闭式泵时要考虑的因素有工作压力、流量、转速、变量方式、效率、寿命等。目前,丹佛斯的闭式变量泵已大量应用于水平定向钻机回转及推拉动作用上,性能稳定高效,维修方便。所以GBS-55型水平定向钻机回转及推拉液压回路选择丹佛斯90系列闭式变量泵,回转泵选择90系列排量100 mL/r、额定压力42 MPa、持续转速3300 r/min,推拉泵选择90系列排量130 mL/r、额定压力42 MPa、持续转速3100 r/min。以上选项均满足设计计算要求。

3.2.2 液压马达的选择

液压马达是液压系统中的执行元件。在对液压马达进行选型时需要充分考虑转速范围、工作压力、运行扭矩等因素。本系统中回转及推拉回路所采用的液压马达为定量柱塞马达,目前水平定向钻机上

常用的高压定量柱塞马达有丹佛斯90系列马达,力士乐A2F系列等。其中力士乐A2F系列定量柱塞马达已基本实现国产化,性价比高。所以GBS-55型钻机回转及推拉液压回路选择A2F系列定量柱塞马达,回转马达排量80 mL/r、额定压力35 MPa,推拉马达排量63 mL/r、额定压力35 MPa。以上选项均满足设计技术要求。

4 GBS-55型钻机液压系统特点

(1)主要动作选用闭式系统,结构紧凑,系统效率高;

(2)动力头回转及推拉在施工中需要经常调速以适应不同地质条件,变量闭式泵有很好的调速特性,满足施工需求;

(3)采用开式和闭式混合回路,合理分配功率,提高了系统效率,节能环保;

(4)马达变速采用定量马达串并联方式,相比用变量马达,大大节约了成本。

5 应用效果

首台GBS-55型水平定向钻机于2014年5月运往安徽滁州进行市政燃气管线施工,施工地层主要为粘土层。主要进行了4段管线的施工:均为 $\varnothing 419$ mm钢管,长度分别为420、500、620、380 m。4段管线均保质保量按时完工,施工期间钻机液压系统运行状态良好,稳定高效。GBS-55型钻机的表现受到了客户一致好评,目前GBS-55型钻机已经实现批量生产。

参考文献:

- [1] 韩桂华,王景峰,乔玉晶. 液压系统设计技巧与禁忌[M]. 北京:化学工业出版社,2012:175-190.
- [2] 张海平. 液压速度控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2014:48-63.
- [3] 王益群,高殿荣. 液压工程师技术手册[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [4] 王朝建,花蓉. GBS-40型非开挖铺管钻机的研制与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):334-341.
- [5] 曾斌. 静液压多马达传动系统浅析[J]. 液压气动与密封,2011,(10):49-51.
- [6] 冀宏,左嘉韵,程源. 工程机械液压元件及节能液压系统的发展与思考[J]. 液压与气动,2013,(5):1-7.
- [7] 游善兰. DZ1245水平定向钻液压系统[J]. 非开挖技术,2003,(11):46-47.
- [8] 胡军驰. 液压传动闭式系统优缺点及防护[J]. 流体传动与控制,2011,(2):58-60.