

DZ100 系列注浆泵的研制

田公明

(黑旋风工程机械开发有限公司, 湖北宜昌 443003)

摘要: 为了摆脱国外对隧道盾构施工同步注浆工艺中使用的液压泵的技术垄断, 为市场提供质优价廉的注浆泵, 黑旋风工程机械开发有限公司通过长期分析研究国内外多种同类产品的优缺点后, 针对盾构同步注浆的工艺特点, 结合试验机多年成功应用后积累的丰富经验, 运用机械、液压、电器、信息传感与通信等多学科技术, 采用自动润滑的双缸双作用双泵头的柱塞结构, 利用电液比例和 PLC 控制, 用流量和压力传感器及人机界面作信息采集和处理的工具, 研制出了具有自主知识产权的 DZ100 系列盾尾注浆泵。通过模拟工况试验, 其性能完全满足盾构施工同步注浆工艺的需要, 同时具有进口泵所不具备的可双液注浆、连续注浆、劈裂注浆、无堵塞注浆等性能特点。

关键词: 盾尾同步注浆; 液压注浆泵; 吸浆; 排浆; 流量无级调节; 注浆压力调节; 双液注浆; 单液注浆

中图分类号: TH 137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-741X(2010)06-0716-08

Development of DZ100 Series of Grouting Pumps

TIAN Gongming

(Black Whirlwind Engineering Machinery Development Co., Ltd., Yichang 443003 Hubei, China)

Abstract In order to get rid of the monopolization of foreign countries in the technology of hydraulic pumps used for simultaneous grouting in shield tunneling and provide contractors with grouting pumps with superior quality and competitive price, Black Whirlwind Engineering Machinery Development Co., Ltd. (BW in short) has made great efforts to develop grouting pumps. After a long-time analysis on the advantages and disadvantages of various grouting pumps, BW has developed DZ100 series of grouting pumps for simultaneous grouting in shield tunneling, which has independent intellectual property right. The trial of DZ100 series of grouting pumps under simulated working conditions demonstrates that they can satisfy the requirements of simultaneous grouting in shield tunneling and have unique properties compared to imported grouting pumps.

Key words simultaneous grouting at shield tail; hydraulic grouting pump; grout suction; grout discharge; flow rate adjustment at full range; grouting pressure adjustment; C-S grout; cement grout

0 引言

盾构施工法被认为是隧道施工中最安全、对地层的扰动最小、对地面建筑破坏最小的一种工法, 在城市地铁施工中被广泛采用^[1-3]。目前, 全国有 30 多个城市审批通过了地铁建设方案, 有 20 多个城市在紧张地进行地铁盾构施工。

在盾构机掘进过程中, 环片和地层间会形成一个环形的空隙, 这个空隙需要及时用特制浆液(盾尾浆液^[4-5])进行填充以防止地层下沉, 即在盾构掘进、空隙形成时在盾构尾部注浆, 注浆与盾构掘进同步; 因此, 这种工艺称之为盾尾同步注浆, 其最大优点是可以减少盾构隧道施工对地层的扰动^[6-8]。

盾尾同步注浆泵是随着隧道盾构施工工艺的应用

而发展起来的。在我国盾构长期依赖进口, 近年来国产盾构不断研制成功^[9], 但盾尾同步注浆泵作为盾构主要工作单元还是依赖进口, 国内还没有自主知识产权的盾尾同步注浆泵生产。研制具有自主知识产权的国产盾尾同步注浆泵很有必要。

1 现有盾尾注浆泵的原理和特点

1.1 挤压胶管泵

这种挤压胶管泵也称挤压式混凝土喷射机^[10], 应用于从日本进口的盾构中, 其工作原理是通过滚轮挤压一根胶管使其容积发生改变进行泵吸排作用来泵送浆液, 胶管是它的关键件也是易损件, 这种进口胶管易老化、疲劳失效, 使用寿命短。图 1 是该挤压胶管泵在盾构中的安装情况, 一根胶管弯成 U 形穿过挤压泵,

在胶管上下两端引出泥浆的进排管道。



图 1 挤压胶管泵实物图

Fig 1 Rubber hose pressing pump

挤压胶管泵一般应用于膨润土浆液的注射, 水泥砂浆因其易凝固和对胶管磨损大, 用此类泵注射砂浆, 其胶管使用寿命更短。

1.2 污泥活塞泵

市场上有一种较广泛使用的从德国进口的污泥泵^[11], 其输送介质是针对污泥而设计的, 污泥的特点是不易凝结。而大多数盾构浆液, 采用需要一定的早期固结强度的硬性浆液^[7], 其主要成分之一是易凝结的水泥^[4-8], 所以将污泥泵使用在输送盾构硬性浆液, 浆液会在注浆过程中在泵内腔凝结, 形成堵塞。这种进口泵价格昂贵, 目前市场价在每台 160 万元左右。

污泥泵作为盾构注浆泵来使用, 另有 1 个不足之处是单台污泥泵不适合用于双液注浆^[5, 12], 因为该泵的工作原理是双缸单作用活塞泵^[13]。每台污泥泵只有 2 个吸排室, 泵在工作时 2 吸排室 1 个吸浆时另 1 个在排浆, 2 吸排室只能差动送浆, 这样, 在双液注浆时, A, B 2 种浆液只能差动输送, 在孔口混合时形成藕节式的分离状况, 1 节是 A 液, 1 节是 B 液, 使 A, B 2 种浆液不能均匀混合, 混合浆液不能及时凝固, 影响双液注浆效果。同时差动送浆的方式, 会在受浆地层中形成浆液搅拌的效果, 加大对地层的扰动、不利于浆液的尽早凝结稳定地层, 也不能做到真正的与盾构同步注浆。

1.3 SYB-90 型双液变化比化学变量泵

SYB-90 型双液变化比化学变量泵优点是可以任意比例进行双液注浆, 不足是柱塞采用盘根密封, 盘根易损耗需要经常更换, 不宜需要连续同步注浆的盾构使用^[14]。

1.4 ZJB(BP)-30A 型变频调速高压注浆泵

ZJB(BP)-30A 型变频调速高压注浆泵优点是采用了变频电机, 使泵的流量可无级调节, 不足是变频器的变频需要一定的时间, 该泵不宜使用在需要及时快速调节流量的盾构注浆场合^[15]。

2 DZ100 系列注浆泵的研制

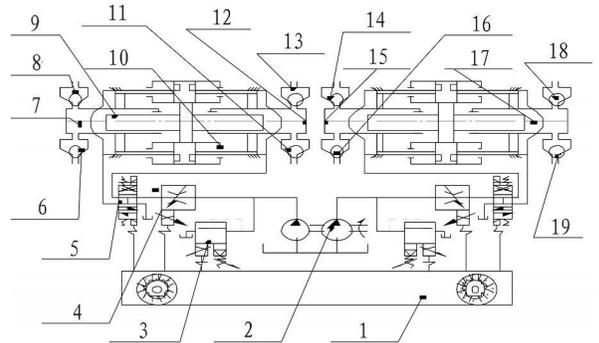
2.1 结构特点

2.1.1 知识产权情况

DZ100 系列注浆泵是黑旋风工程机械开发有限公司自我研制成功的国产全液压注浆泵, 专利号为 ZL 200920273036 1。该专利技术采用双缸双作用柱塞的结构, 柱塞用双出油缸驱动, 双出油缸液压油的压力和流量利用电液比例阀控制。

2.1.2 整机原理结构

图 2 是 DZ100 注浆泵的泵头结构原理图。



1—电控柜; 2—液压泵组; 3—电液比例溢流阀; 4—电液比例流量阀; 5—电磁换向阀; 6—A 泵头左吸阀门; 7—A 泵头左吸排室; 8—A 泵头左排阀门; 9—A 泵头柱塞; 10—A 泵头驱动油缸; 11—A 泵头右吸阀门; 12—A 泵头右吸排室; 13—A 泵头右排阀门; 14—B 泵头左排阀门; 15—B 泵头左吸排室; 16—B 泵头左吸阀门; 17—B 泵头右吸排室; 18—B 泵头右排阀门; 19—B 泵头右吸阀门。

图 2 DZ100 注浆泵原理示意图

Fig 2 Sketch of principle of DZ100 series of grouting pumps

每台 DZ100 注浆泵有 2 个独立的泵头, 每个泵头由上下 2 根驱动油缸带动 1 根柱塞左右来回运动, 柱塞的两端各安装有左、右吸排室, 每台 DZ100 注浆泵有 4 个吸排室, 能实现双液注浆。在双液注浆时, A, B 2 种浆液连续同步注射, 在孔口混合器处能使这 2 种浆液均匀混合, 浆液注入地层后能充分发挥双液注浆的作用。

2.1.3 泵头结构

泵头吸排室的阀门采用钢球自由启闭结构, 钢球的球面形状, 不易于砂石卡塞阀门; 钢球的自由转动, 会使钢球磨损均匀, 使之能长时间保持使用性能。这种结构, 制造工艺较油缸驱动、强制启闭锥阀的结构简单, 钢阀门检修也方便, 当钢球磨小不能密封时, 换 1 个钢球就可以了, 钢球在阀门内自由放置, 比安装螺栓之类的拆装简便; 同时, 阀门的启闭利用浆液的自身压力变化, 不消耗额外动力。

A, B 泵头的驱动油缸分别由独立的控制油路提供压力油, 有独立的电磁换向阀、电液比例流量阀、电液比例压力阀、供油液压泵, 可实现在同 1 台注浆泵

A, B 2 泵头进行独立地吸排浆液, 独立地调节输出介质的流量, 独立地控制输出介质的压力。

在每个泵头的两端设置电磁接近开关, 对驱动油缸的行程为控制柜提供信号, 控制驱动油缸换向和注浆泵工作时柱塞运行换向显示, 操作人员可以根据在远程人机界面上换向显示来监控盾尾注浆泵运行情况。

2 1 4 控制部分结构

每台 DZ100 注浆泵设置了由 PLC 主控制的本机控制电柜, 本机控制电柜预留了通讯接口, 可以接远程控制电柜及和盾构机上其他通讯设备。

泵头的主要工作部件是柱塞, 它的使用寿命直接影响 DZ100 注浆泵的性能, 除选用特种钢材和制作工艺外, 在结构上专门在柱塞的支撑密封位置设置了全自动润滑装置, 有效地减缓柱塞及密封支撑件的磨损。

2 1 5 试验机型

图 3 是 DZ100 注浆泵的试验机型 PH15 泵的整机照片, PH15 泵应用在对压力和流量有严格要求并能精密调节的精密注浆场合。



图 3 PH15 注浆泵

Fig 3 PH 15 grouting pump

2 1 6 DZ100 注浆泵整机

DZ100 注浆泵在介质输出管路中设置了流量传感器和压力传感器, 可以实时反馈注浆流量、压力参数, 在远程控制柜 (人机界面) 中显示出来, 便于操作者及时了解 and 调整注浆参数。

整机 (单机) 形态的 DZ100 注浆泵在液压油路中设置了全自动油温检测和控制系统 (图 4), 能有效地控制工作油温, 当该液压泵单独工作时可以不依赖其他设备, 自成体系地工作。这一特点, 使单机 DZ100 注浆泵可以放置盾构隧道的任一位置对隧道壁进行二次注浆 [3 5 16-17]。

2 1 7 各主要部分结构

分体形态的 DZ100 注浆泵可拆分成: 注浆泵头 (图 5 1 台 DZ100 注浆泵有 2 个这样的泵头)、液压动力控制 (图 6)、本机控制电柜 (图 7)、注浆管路及数据检测 (图 8)、远程控制电柜 (图 9) 等 5 个部分, 它们之

间利用可以延伸和弯曲的电缆及油管联接。



图 4 DZ100 注浆泵单机

Fig 4 DZ100 series of grouting pumps

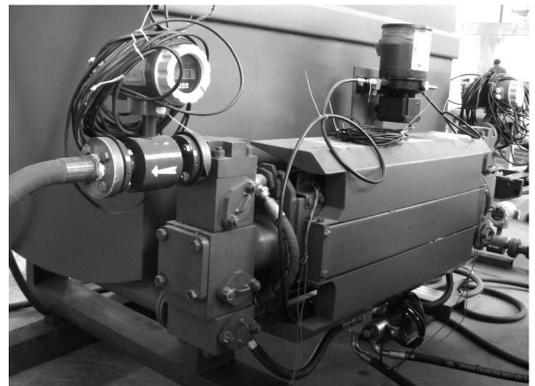


图 5 DZ100 注浆泵泵头

Fig 5 Head of DZ100 series of grouting pumps

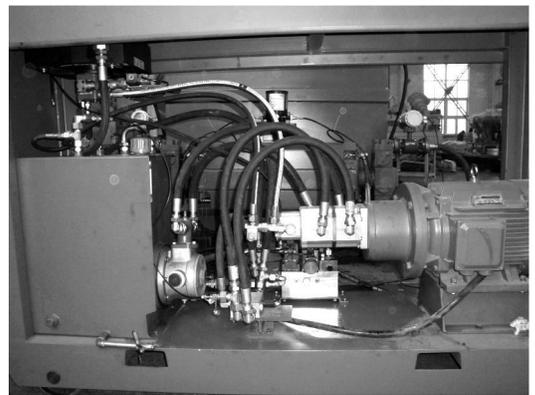


图 6 DZ100 注浆泵动力控制

Fig 6 Power control of DZ100 series of grouting pumps

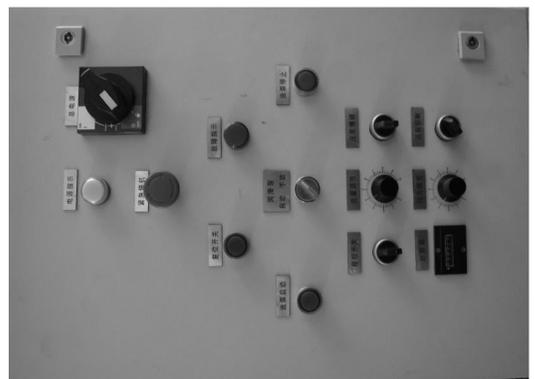


图 7 DZ100 注浆泵本机控制柜

Fig 7 Control panel of DZ100 series of grouting pumps

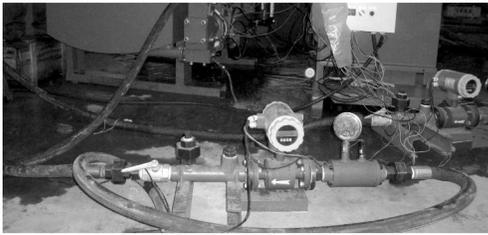


图 8 DZ100 注浆泵注浆检测管路

Fig 8 G routing inspection pipe of DZ100 series of grouting pumps



图 9 DZ100 注浆泵远程控制柜

Fig 9 Remote control panel of DZ100 series of grouting pumps

分体形态的 DZ100 注浆泵可以根据盾构的内部空间条件确定安装各部件的位置。其中远程控制电柜、注浆管路及数据检测、液压动力控制中的油箱及冷却系统可以根据盾构的原有配置进行取舍。这种特点便于对旧盾构注浆系统的维修及对进口注浆泵的国产化置换。

2 2 工作原理

2 2 1 吸、排浆的原理

1 台 DZ100 注浆泵的 A、B 泵头的工作原理相同, 现以 A 泵头为例予以说明, 见图 2。

启动注浆泵的电机后, 液压泵组 1 工作, 为 A 泵头提供压力油, 压力油经过比例溢流阀 3 限压、比例流量阀 4 调节压力油的流量、电磁换向阀 5 决定压力油的流向后, 驱动 A 泵头的驱动油缸 10 带动 A 泵头柱塞 9 向左移动, 这样, A 泵头左吸排室 7 内的容积减少, 介质(浆液)被压缩, 浆液压力增加, A 泵头左进阀门 6 的钢球(阀门)在自重和浆液压力的作用下向下运动, 卡住(关闭)左吸浆口; A 泵头左排阀门 8 的钢球(阀门)在浆液压力的作用下克服自身重量向上运动, 开启左排浆口, 浆液在 A 泵头柱塞 9 向左运动作用下由 A 泵头左排浆口 8 流出, 完成 1 次排浆(注浆)的过程。

在 A 泵头柱塞 9 向左移动的同时, A 泵头右吸排室 12 内的容积增加, 浆液压力减小, 使腔内压力小于大气压, 即呈负压状态, 此时, A 泵头右排阀门(钢球) 13 在自重和负压的作用下向下运行, 卡住(关闭)右排浆口; A 泵头右吸阀门 11 在负压的作用下克服自重向

上运动, 开启 A 泵头右吸阀门 11, 浆液在负压的作用下流进 A 泵头右吸排室 12 完成 1 次吸浆过程。

综上所述, 即当驱动油缸带动柱塞向左运动时, 在 A 泵头的左吸排室完成排浆过程, 同时在 A 泵头的右吸排室完成吸浆过程。

DZ100 注浆泵在泵头的两端安装有电磁接近开关。当 A 泵头驱动油缸 10 继续向左运动, 触发安装在 A 泵头左端的电磁接近开关, 给电控柜 1 发出电信号, 由电控柜 1 内的 PLC 程序控制, 对电磁换向阀 5 发出换向电流, 使电磁换向阀 5 换向, 改变压力油的流动方向, 使 A 泵头驱动油缸 10 改变运动方向, 带动 A 泵头柱塞 9 向右运动。这样, 在 A 泵头的右吸排室产生排浆的作用, 同时在 A 泵头的左吸排室产生吸浆的作用。

当 A 泵头驱动油缸 10 继续向右运动, 触发安装在 A 泵头右端的电磁接近开关, 给电控柜 1 发出电信号, 使电磁换向阀 5 再次换向, 驱动油缸左行。带动柱塞周而复始地左、右运动, 从而实现 A 泵头的连续吸、排浆液。

2 2 2 流量无级调节的原理

参见图 2 进入驱动油缸的压力油, 流经电液比例流量阀 4 时, 流量的大小经过设定, 当压力油的流量大时, 驱动油缸带动柱塞运动的速度就快, 泵头吸、排浆液的流量就大; 当压力油的流量小时, 驱动油缸带动柱塞运动的速度就慢, 泵头吸、排浆液的流量就小。

电液比例流量阀 4 的过流量大小, 是同输入到电液比例流量阀的电流大小成正比例关系的, 当来自控制柜 1 的电流大小无级调节时, 流经电液比例流量阀 4 的压力油流量也无级地变化, 使驱动油缸带动柱塞运动的运动速度无级地增减, 从而使泵头吸、排浆液的流量无级地得到调节。

2 2 3 注浆压力调节的原理

在注浆施工过程中, 注浆压力的大小是由浆液在地层中的注入阻力决定的, 注入阻力大时注浆泵输出压力就大, 反之则小。注浆泵的出口压力应稍大于注浆阻力, 才能保证浆液在注浆管路和地层中的流动, 但在盾构注浆过程中对注浆的压力有着严格的控制^[7]。DZ100 注浆泵压力调节有 2 个方面的概念:

1) 在注浆泵的液压系统中调节油压的最高安全压力, 通过无级调节电液比例压力阀的输入电流达到无级地调节油压系统的安全压力, 当注浆阻力增大使液压系统油压升高到调定压力时, 液压系统自动卸荷, 注浆泵停止注浆。这种液压系统最高安全压力的设定, 可以起到注浆安全和液压系统安全的双重作用。

DZ100 注浆泵在注浆孔前端设置了合适量程的压力传感器、在注浆管路中设置了流量传感器, 及时地将

孔口注浆压力和流量实时传输到控制柜的 PLC 中作数据处理,并在人机界面中显示压力数据,便于操作人员及时调节注浆压力,见图 10。图中上半部是调节压力和流量的相对数量显示,右边是数据调节的功能键。这种调节在本机控制柜和远程控制柜都可以进行。

2)在 PLC 的控制程序中设置逻辑语句,利用孔口压力传感器传输的实时压力数据,编制控制指令,控制液压系统中的比例流量阀,能使注浆过程在注浆压力的控制下自动启动或停止,实现自动注浆和保压。

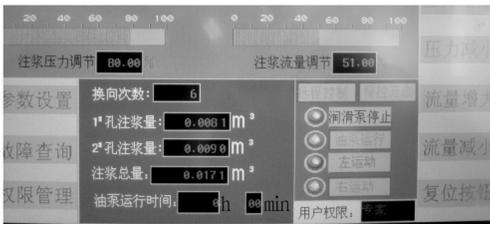


图 10 DZ100注浆泵压力和流量控制

Fig 10 Pressure and flow rate control of DZ100 series of grouting pumps

在 DZ100 注浆泵的远程控制柜(人机界面)里,可以设定最高注浆压力和注浆启动压力,当压力传感器检测到孔口注浆压力达到设定最高注浆压力时,注浆泵会停止注浆,进入注浆保压状态;当由于浆液在地层中渗透后注浆压力降低到设定的注浆启动压力时,注浆泵会自动启动注浆。这一自动注浆和保压的过程是盾尾注浆泵自动完成的。注浆泵压力控制界面见图 11。

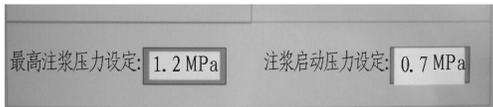


图 11 DZ100注浆泵压力控制

Fig 11 Pressure control of DZ100 series of grouting pumps

2 2 4 双液注浆的原理

1台 DZ100 注浆泵有 A, B 2 个泵头,有各自的吸浆口和排浆口。当 A, B 2 个泵头分别吸入 A, B 2 种不同的浆液时,即双液泵,可以进行双液注浆,同时由于 A, B 2 个泵头的流量可以独立无级调节,可以实现 A, B 2 种浆液的任意体积比例注浆。

2 2 5 单液注浆的原理

当 1 台 DZ100 注浆泵的 A, B 泵头 2 泵头吸入同一种浆液时,即单液泵,可以进行单液注浆。由于具有 4 个吸排室,4 个排浆口,可根据需要将 4 个排浆口中的部分或全部连通连接,进行 4 2 1 孔的注浆。通常连接成作为 2 孔注浆状态时,即 1 个泵头对应 1 个注浆孔,每个注浆孔能连续不间断地平稳注浆,真正做到与盾构同步注浆,减少对地层的扰动,没有浆液在地层中搅拌的现象,有利于浆液及早凝结。

2 3 使用性能的设计及特点

2 3 1 注浆参数的真实性

盾尾注浆工艺中对注入浆液的压力流量有着较严格的要求^[6-7],而注浆压力和流量数据的实时采集是靠压力传感器和流量传感器,不同量程的传感器其灵敏度和阻抗不一样,如果用在同系统中会引起检测数据的失真。如何能够最大限度地保证传感器检测数据的真实性呢? DZ100 注浆泵充分地考虑了更换原装传感器会影响数据失真的问题。在 PLC 数据处理程序中设置了量程校准过程,并在人机界面中设置了对话框,见图 12。

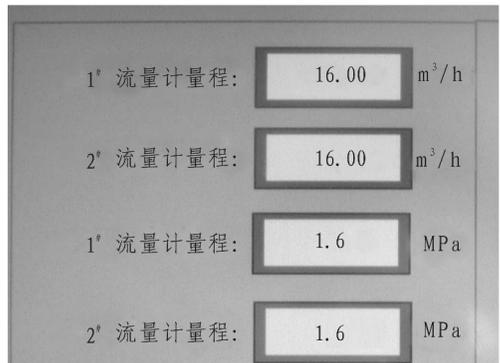


图 12 Z100注浆泵人机界面

Fig 12 Interface of DZ100 series of grouting pumps

2 3 2 可长期保持使用性能

DZ100 注浆泵的主要液压元件采用性能优良的 BOSCH-REROTH 产品,采用高精度滤油器可保证液压元件多年使用而保持良好性能。

对与泥浆接触柱塞设置了全自动注油润滑装置,对柱塞的支承和密封部位进行不间断的油脂润滑保护,大大地减缓了泥浆对运动部件的磨损。

DZ100 注浆泵采用的是全封闭式工程机械专用的 PLC,防护等级达到 IP67 级,可有效达到防尘、防雾、防水。在盾构隧道高湿的环境中使用,可有效预防水气和凝露对 PLC 控制器的破坏。

2 3 3 无堵塞注浆设计

流道堵塞可分为 2 种情况:一种是机械性卡堵,即颗粒过大通不过管道而形成堵塞;另一种是液力卡堵,即流动的液体对阻碍其流动的物体会产生推动作用,当这种推动力不足以推动颗粒流动而使颗粒沉积形成堵塞现象。

DZ100 注浆泵的泵头流道设计考虑了盾尾浆液的性能。

盾尾浆液中的砂石在制浆前经过精心筛选,其许可砂石粒径为 2~3 mm^[6-12]。DZ100 盾尾注浆泵设计砂石通过粒径为 5 mm,实际是 4 颗粒径为 5 mm 的砂石按 4 点均匀分布在同一水平圆周上,同时并在特定的方位上通过阀口时才有被卡在钢球阀门里的可能,

实际上这种情况的发生率几乎为 0。流道的其他位置远大于砂石粒径,所以这种泵几乎不可能发生机械性卡堵。

DZ100 系列注浆泵的流道设计,考虑了液力卡堵问题,根据盾构机所需流量的大小对盾尾注浆泵的参数规格进行了分级,3m 左右盾构用 DZ80 型;6m 左右的盾构用 DZ100 型;8m 以上的盾构采用 DZ120 型注浆泵。这样,各种类型的 DZXX 盾尾注浆泵所需的流量同流道相匹配,注浆时不会出现进口污泥泵那样的堵塞情况,也就不需要在连续注浆过程中停下来检修清堵。

图 13 是 DZ100 用孔径 5 mm × 5 mm 的筛子筛砂制成盾构砂浆进行注浆试验,未出现堵塞的情况。实验的材料配比每 m³ 泥浆包括水 435 kg、水泥 175 kg、粉煤灰 466 kg、膨润土 167 kg、砂 505 kg,制成硬性浆液的体积质量为 1.748。



(a)



(b)

图 13 DZ100 注浆泵试验

Fig. 13 Trial of DZ100 series of grouting pumps

2.3.4 方便清洗、检修

DZ100 系列注浆泵的注浆泵头设计多块可拆盖板(图 5),注浆泵长时间停机,如果防护工作又未到位,会使硬性浆液在泵头内凝固,需要拆开相应位置的盖板清理泥块,所拆的盖板重量不超过 4 kg,可方便快捷地完成拆开工作。

如果需要长时间停机,也可以用防护工艺来完成注浆泵自动清洗工作:在泥浆凝固前,先让注浆泵吸入膨润土浆排出泵头的砂浆,再吸入清水,用大流量吸、排的方式清洗泵头流道,完成盾尾注浆泵自动清洗的

过程,此过程不需要拆开机器。

当阀门的钢球长时间使用后磨损严重不能使用时,拆开相应位置的盖板,用手指取出旧钢球,再放进去 1 个新的,盖上盖板,不需过多的操作。

2.3.5 节能设计

DZ100 系列注浆泵的液压控制系统采用了节能方法,电机的所需功率自动感应注浆的压力和流量。当注浆的压力降低时,电机电流会减小,所需电能降低。注浆的流量调小时,油压系统低压卸荷,降低能量损耗。

2.3.6 劈裂注浆和爆破清堵功能

DZ100 系列注浆泵除了可双液任意体积比例注浆和单液流量、压力无级调节注浆外,还针对二次注浆工艺设置了注浆劈裂功能^[18-19]。

二次注浆是在已施工完成的隧道壁上,利用环片的补浆孔对地层进行再次注射浆液,注射前要对补浆孔进行人工戳通,但不能完全戳通环片和前次注浆层,否则会引起地下泥水倒灌,留下来的隔层需要利用二次注浆时泥浆压力击穿,在击穿前的短时间内需要较高的压力,但在击穿后要控制出一种较低的安全注浆压力,以防地层产生二次破坏。DZ100 系列注浆泵的注浆劈裂功能专门为这一工艺过程设置的,当选择注浆劈裂功能时,注浆泵的输出压力和流量瞬间达到最大值,在注浆点产生较高的压力击穿隔层,此时取消注浆劈裂功能的选择,压力和流量马上回到设定安全注浆值,使用起来十分方便。

利用 DZ100 系列注浆泵的劈裂注浆功能也可以用于管道的清堵。当注管道由于停机时间过长,引起盾构浆液沉积或水泥砂浆初凝使管道堵塞,可以使用劈裂注浆功能,利用瞬时的高压大流量产生的爆破作用打通管道的堵塞,使管道畅通。由于瞬时的高压只存在与泵头和管道堵塞点之间,在注浆地层不会产生高压,所以不会破坏受浆地层。一旦打通管道堵塞,注浆压力和流量马上恢复到注浆设定值,这个清堵的过程可称为爆破清堵。

2.4 参数设计与计算

2.4.1 注浆泵输出流量

DZ100 系列注浆泵的输出参数根据相应规格的盾构机所需要而定,以 6m 盾构机为例进行说明:

1) 每环所需浆量,可由公式计算^[6-7]

$$V = \pi/4 \cdot KL(D_1^2 - D_2^2) \quad (1)$$

式中: V 为每环所需浆量, m³; K 为填充系数 1.5~1.8; L 为环片宽, m; D_1 为开挖直径, m; D_2 为环片外径, m。

将相关参数代入式(1)得

$$V = \pi/4 \times 1.5 \times 1.5 \times (6.28^2 - 6.0^2) = 6.0 \text{ m}^3$$

2) 盾构注浆泵所需最大流量

$$Q = 1000 V / (L / V_1) \quad (2)$$

式中: Q 为所需最大流量, L/m i_n V 为每环所需浆量, m^3 ; L 为环片宽, m ; V_1 为盾构掘进最大速度, m/m i_n

将相关参数代入式 (2) 得

$$Q = 1000 \times 6 / (1.5 / 0.04) = 160 L/m \ i_n$$

6m 左右盾构机所用的 DZ100 注浆泵设计的注浆流量最大为 192L/m i_n 3 MPa 注浆压力下流量可达 172L/m i_n

2.4.2 注浆泵输出压力

盾构注浆的压力是根据盾构注浆点的静水压和静土压决定的^[6-7], 和盾构机的埋深直接相关。目前盾构施工中, 盾构机的埋深大多不足 100m, 注浆压力不到 1.5MPa。考虑到注浆管路的压力损失和施工特别需要, DZ100 注浆泵的常规注浆压力设计在 3.3MPa 最高注浆压力可达 5.5MPa。这种压力范围足可应对多数盾构隧道施工的状况。

2.4.3 注浆泵输出压力、流量曲线

图 14 是 DZ100 注浆泵输出的压力、流量曲线图, 从图中可以看出该泵的最大流量可达 192 L/m i_n 最高压力可达 6MPa。当盾构机以最快速度 40mm/m i_n 掘进时, 输出泥浆压力为 3.3MPa 时, 流量可达 172 L/m i_n 每环注浆 6.48m³; 当注浆压力为 2.5MPa 时, 每环注浆 7m³, 完全可满足 6m 盾构机施工的需要。

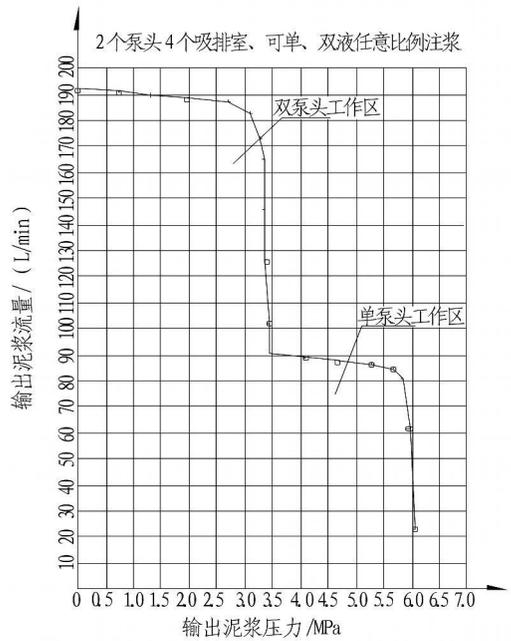


图 14 DZ100 注浆泵输出曲线

Fig 14 Curve of output of DZ100 series of grouting pumps

2.4.4 注浆泵系列化产品参数

针对盾构机的大小对盾尾注浆泵进行系列化设计, 以获得合适相应盾构机的注浆参数, 按对应盾构机直径分 3.6、8m 3 种, 对应盾尾注浆泵系列产品有 DZ80、DZ100、DZ120 3 种规格。见表 1。

表 1 盾尾注浆泵系列化产品的输出性能参数表

Table 1 Output performance parameters of tail skin grouting pumps

盾构机参数	盾尾注浆泵型号	单双液可注性	功率 / kW	电机防护等级	泵头个数	吸排室个数	注浆直径	输出流量 / (L/m i_n)	输出压力 / MPa	每环注浆参数	注浆点数	环片宽 / m	每环注浆时间 / m i_n
3m	DZ80	单液	15	IP55	1	2	ϕ 80	0~89.2	0~7.69	2.58 m ³ / 3.25 MPa / 86 L/m i_n	1 或 2	1.2	30
6m	DZ100	单、双液	30	IP55	2	4	ϕ 100	0~192.5	0~5.68	6.48 m ³ / 3 MPa / 172.8 L/m i_n	2 或 4	1.5	37.5
8m 以上	DZ120	单、双液	37	IP55	2	4	ϕ 120	0~316	0~5.05	13.76 m ³ / 2.14 MPa / 275.2 L/m i_n	2 或 4	2	50

3 DZ100 系列注浆泵的技术性能

1) 能进行注浆流量适时无级调节。

2) 能进行液压系统安全压力和注浆安全压力适时无级调节; 能实现注浆压力达到最高安全值时停止注浆、进行保压, 又当压力降到最低值时自动恢复注浆, 最高和最低压力值可随时设定。

3) 每台泵具有 2 个泵头、4 个吸排室, 不但能进行单液注浆, 还能进行双液任意体积比注浆, 而且能实现 2 种浆液同步注射, 使 2 种浆液混合均匀。

4) 能实现 1 机 2 孔注浆时, 注浆连续不间断, 真正做到与盾构掘进同步注浆, 减少对地层的扰动; 浆液在地层中不会产生搅拌现象, 有利浆液尽早凝结。

5) 注浆压力和流量可本机调节, 也可远程调节; 注浆泵可本机控制也可远程控制。

6) 注浆压力和流量参数及注浆泵运行状况, 可远程显示和监控。

7) 能实现多台注浆泵联机监控, 能同盾构机等其他设备进行通信联络。

8) 针对盾构二次注浆工艺, 专门设置了劈裂注浆功能, 能一键实现瞬时压力和流量的最大输出对注浆地层产生劈裂效果, 劈裂后压力和流量马上恢复到设定安全注浆值范围。

9) 能根据盾构机的大小配置适宜注浆参数的盾尾注浆泵, 能实现注浆泵无堵塞运行, 在使用中不需停机拆洗检修。即只要中途停机时间不达到泥浆凝固的时间, DZ100 系列注浆泵可连续使用, 不需要中途停机拆洗泵头。

10) 根据盾构机的实际工况, 设置了爆破清堵功

能,可以在泥浆初凝引起管道堵塞时,利用盾尾注浆泵的一键爆破清堵功能进行管道自我疏通,恢复正常注浆,而不影响受浆地层。

11)泵头的结构、系统节能及其自润滑的设计,能使 DZ100 系列注浆泵长时间保持优良的使用性能,易损零件少而且寿命较长,所以整机的使用成本低。

4 现场应用及效果

4.1 试验机的使用

DZ100 系列注浆泵的实验机型 PH15 全液压泵从 2005 年试制成功后,通过法国 TEC 公司的严格检验进入欧洲市场,其中有部分返销中国在地铁隧道管棚钻进施工工艺中应用,5 年多来换过 1 次密封件,未出现其他不良反映。

4.2 DZ100 系列注浆泵的使用

首台 DZ100 注浆泵于 2010 年试制成功,通过模拟工况试验,完全符合盾构注浆工艺的需要。目前 DZ100 注浆泵系列产品处在市场推广阶段。

5 结论与讨论

1)DZ100 系列注浆泵在充分考虑盾构同步注浆工艺的基础上,采用双柱塞泵头的结构,利用电液比例阀对输出介质进行流量、压力的无级调节控制,能实现单液和双液任意体积比例注浆;通过压力、流量传感器检测注浆参数,利用工程机械专用 PLC 和人机界面,实现对注浆泵的本机和远程监察和控制;针对盾构的大小需要配置合适参数的盾尾注浆泵,结合独特的流道设计,能实现无堵塞注浆,在连续注浆施工中不需要拆机清洗检修,各项技术性能适合于盾尾同步注浆和隧道二次补浆工艺。

2)DZ100 系列注浆泵针对盾构注砂浆和双液注浆工艺设计的。就可注性上分析,能注砂浆的泵就一定能够注射土压盾构所使用的膨润土浆和发泡剂,只是流量参数可能要根据需要调整。

3)盾尾同步注浆泵所涉及的技术包括了机械、液压、电气、信息传感、处理、通信、地下工程施工等多学科现代先进尖端科技。

参考文献:

[1] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004

- [2] 傅德明. 土压盾构技术在我国地铁隧道工程中的应用和发展 [J]. 岩土力学和工程学报, 2004, 23(增 2): 4888-4892
- [3] 崔玖江. 盾构隧道施工风险与规避对策 [J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 377-396
- [4] 刘广钧, 江海民, 李光耀, 等. 矿渣-硫铝酸盐水泥灌浆材料试验优化 [J]. 科技创新导报, 2009(7): 86
- [5] 王晖, 李大勇, 夏广红. 盾构机盾尾注浆施工中存在的问题及其对策分析 [J]. 苏州科技学院学报: 工程技术版, 2004(1): 40-45
- [6] 胡明. 隧道施工中盾尾同步注浆实施 [J]. 山西交通科技, 2009(4): 58-60
- [7] 张士屹. 盾构法施工同步注浆施工工艺 [J]. 西部探矿工程, 2009(4): 164-167.
- [8] 刘建海. 盾构隧道同步注浆效果对地层沉降的影响预测分析 [J]. 隧道建设, 2010, 30(3): 46-48
- [9] 周文波, 吴惠明, 赵晓霞. 国产盾构机在地铁隧道施工中的应用 [J]. 都市轨道交通, 2006(2): 40-44
- [10] 戈和建. 新型挤压泵式湿式混凝土喷射机的研制 [J]. 隧道建设, 2009, 29(2): 249-251.
- [11] 陈果. SCHWING 污泥泵在上海青草沙原水工程过江管隧道施工中的应用 [J]. 建筑施工, 2010(2): 176-177
- [12] 周东. 盾构隧道施工中同步注浆新材料的实验研究 [J]. 地下工程与隧道, 2002(1): 10-13
- [13] 陈从平, 谭宗染, 黄星德. 一种液动注浆泵液压系统设计 [J]. 液压与气动, 2010(6): 13-15
- [14] 盖西京, 高铁军. SYB-90 型双液变比化学灌浆泵-面向 21 世纪的新一代工程先进设备 [J]. 西部探矿工程, 2001(2): 102
- [15] 崔高汉, 高铁军, 董朝晖. ZJB(BP)-30A 型变频调速高压注浆泵的研制 [J]. 探矿工程: 岩土钻掘工程, 2001(1): 27
- [16] 杜闯东, 贾航, 王坤. 大直径泥水盾构复合地层进仓技术比较与应用 [J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 435-440
- [17] 陈强. 小半径曲线地铁隧道盾构施工技术 [J]. 隧道建设, 2009, 29(4): 446-450
- [18] 张海涛. 盾构同步注浆材料实验研究 [J]. 铁道勘察与设计, 2009(4): 68-72
- [19] 叶飞, 朱合华, 何川. 盾构隧道壁后注浆扩散模式及管片的压力分析 [J]. 岩土力学, 2009(5): 1307-1312