

# 泥水处理中的滚动筛设计

王 兴

上海隧道工程有限公司 上海 200333

**摘要:** 泥水系统是泥水平衡式盾构机施工重要组成部分, 滚动筛又是泥水处理中的预筛, 起着第一道筛选的作用, 为后续一二级旋流器更精细的筛分做准备。本文介绍的滚动筛为桃浦污水处理初期雨水调蓄项目。详讲了滚动筛的工作原理及适用中的优缺点。计算滚动筛的处理能力和驱动强度校核和滚动筛部件安装的注意事项等。

**关键词:** 滚动筛; 驱动; 滚筒

泥水系统是泥水平衡式盾构机施工重要组成部分, 其作用是把达到指标要求的泥水用泵送入泥水盾构机开挖面, 再将泥水与盾构机切削的土体混合后重新输送到地面进行分离和调整。将经过处理的泥水重新送入盾构机开挖面, 如此循环往复。大直径泥水平衡盾构机泥水系统包括泥水处理系统和泥水输送系统两部分。

泥水处理系统即平时所说的固控分离设备, 主要作用是将排入到地面的高浓度泥水, 通过分离设备各阶段的筛分, 最后将大颗粒土体筛出, 将符合要求的小颗粒土体循环利用, 重新输入盾构机开挖面, 形成泥水膜。固控分离设备包括预筛(即滚动筛或振动筛), 一级旋流器、二级旋流器、脱水筛等。他们可以筛分的土体粒径大小不等。通过对地层的粒径分布曲线对各设备进行选型, 最终筛选出符合要求的泥水粒径。

## 一、滚动筛简介

滚动筛转速低, 工作平稳, 可以放在泥水处理设备的最上层, 但是他的缺点是筛孔容易堵塞, 工作效率低。在桃

浦 TP1.4 标项目中, 滚动筛作为泥水处理系统中的第一道预筛, 其主要筛分 1~3cm 以上的粗颗粒成分, 因此滚动筛网格孔尺寸应为 3 公分以下, 通过筒体不断的旋转, 将小于 3 公分的土体作为筛下物进行下一阶段的筛分。大于 3 公分的土体则在筒体旋转中被带出落入弃土坑。

如图 1 所示, 滚动筛结构主要分为 5 部分, 包括 1: 滚筒、2: 挡轮 3: 驱动轮 4: 喷嘴、5: 托辊。滚筒由带筛网的不锈钢板卷制而成, 滚筒内部装有整圈的叶片, 通过叶片螺旋转动, 将滚筒内的物料向出料口运输, 并在物料通过筛网时, 将物料进行筛分。图 1 中, 从盾构机输送到地面的高浓度泥浆从进浆管进入到滚筒内, 通过滚筒旋转把泥浆往出料方向运输, 运输过程中细小物透过筛网垂直落下, 作为回收物进入下一道筛分设备。筛上物被运输到出料口, 最终落入弃土坑。当滚筒碰到粘土堵塞筛网时, 可以通过在滚动筛滚筒两侧高压水喷嘴对筒体进行清洗。

## 二、驱动设计

### 1. 驱动结构介绍

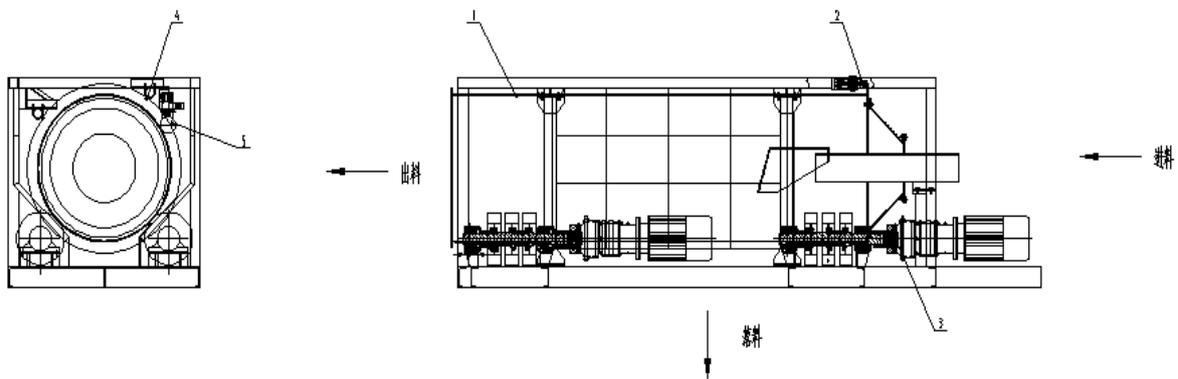


图 1: 滚动筛结构图

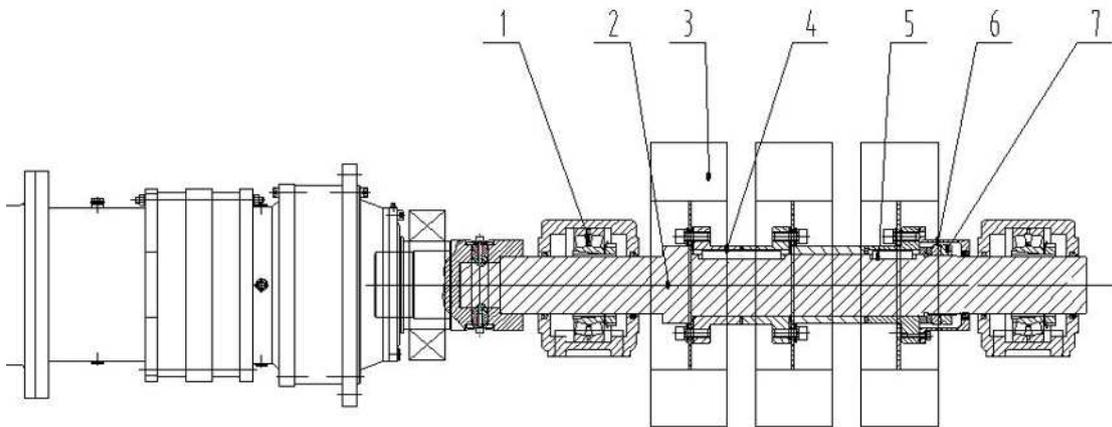


图 2: 驱动结构

1. 调心轴承: 2 驱动轴 3: 实心胎 4: 法兰: 5 连接键 6: 锁紧螺母 7: 保护罩

滚动筛驱动轮因长期暴露在外, 并且现场泥水四溅, 在这样的潮湿环境下, 驱动轴各连接部件都会生锈腐蚀。对于现场维修及后续保养都十分不便。在对原海瑞克滚动筛驱动部件进行后期保养时, 发现驱动零部件因为锈蚀都已经无法拆卸, 即使使用 10t 的液压油缸加大顶力也无法将生锈的零件拆开, 最后破坏拆除, 导致主轴受损。因此可想如果现场发生突发情况需要更换轮胎和驱动零部件时, 修复难度更大。

所以在这次的驱动新设计时, 需要考虑驱动整体的密封性能, 将轴体各连接部分增加密封, 保证轴体内部不生锈, 并且需要拆卸方便, 在现场出现轮胎磨损或者需要其他部件更换时, 都可以方便拆卸和更换。

如图 2 所示驱动的左端是电机加减速机和过度套的输出结构, 左右两端为调心轴承, 轮胎与法兰连接, 并将 3 个连接法兰套在轴上, 最右端的法兰用锁紧螺母锁住定位。每个法兰中间用毛毡密封, 最右端的锁紧螺母外圈用保护罩密封。此种结构安装方便, 安装方法是最左端的轴肩作为定位, 将轮胎与法兰用螺栓固定, 然后依次将三个轮胎套在轴上与左部轴肩压紧, 再将锁紧螺母锁紧最右端法兰即可。现场更换轮胎时, 只需将右侧轴承座拆下, 把锁紧螺母拧下, 即可依次拆下轮胎更换。

## 2. 驱动设计计算

### (1). 滚筒筛直径计算<sup>[1]</sup>

$$Q = 0.72\gamma\mu\alpha^2\sqrt{R^3h^3} \Rightarrow R = 0.7m$$

Q: 滚筒筛产量

$\gamma$ : 介质密度

$\mu$ : 填充率

$\alpha$ : 筛筒倾角

$n$ : 转速

$h$ : 物料高度

$$L = 3 \sim 5D = 3.6 \sim 6m$$

滚筒长度选定为 4.3m

### (2). 滚筒转速计算

$$n_{\text{筒}} = (1480 / i_{\text{减}}) \times R_{\text{胎}} / R_{\text{筒}} = 10.3r / \text{min}$$

$i_{\text{减}}$ : 减速机传动比 51.3

$R_{\text{胎}}$ : 驱动轮胎半径

滚筒转速限定范围<sup>[2]</sup>:

$$[n] = 8 / \sqrt{R} \sim 14 / \sqrt{R} = 6.8 \sim 11.86r / \text{min}, \text{符合要求}$$

### (3). 功率计算

$$P = T_{\text{轴}} n / 9550 = (6790 \times 1480 / 51.3) / 9550 = 20kw$$

## 3. 轴强度计算

### (1). 确定滚筒总质量

滚筒总质量由滚筒及滚筒中泥浆组成:

$$m_{\text{总}} = m_{\text{筒}} + m_{\text{泥}} = m_{\text{筒}} + \rho_{\text{泥}} V_{\text{泥}} = 2.5 + 1.8 \times 0.74 = 3.84t$$

### (2). 驱动轴所需扭矩

$$F_{\text{正}} = G / \sqrt{2} / 4 = 6790N$$

$$f_{\text{摩}} = \mu F_{\text{正}} = 0.8 \times 6790 = 5432N$$

$$T_{\text{轴}} = f_{\text{摩}} \times R_{\text{胎}} = 5432 \times 250 = 1358Nm$$

$$T_{\text{轴}} - 2kT_{\text{轴}} = 2 \times 2.5 \times 1358 = 6790Nm$$

$F_{\text{正}}$ : 驱动轴所受正压力:

$f_{\text{摩}}$  : 轮胎受到的摩擦力

$T_{\text{轴}}$  : 驱动轴需要扭矩

$T_{\text{减}}$  : 减速机输出扭矩

$k$  : 安全余量

### (3). 受力模型图

根据装配图 3 所示, 画出驱动轴的弯矩图和扭矩图

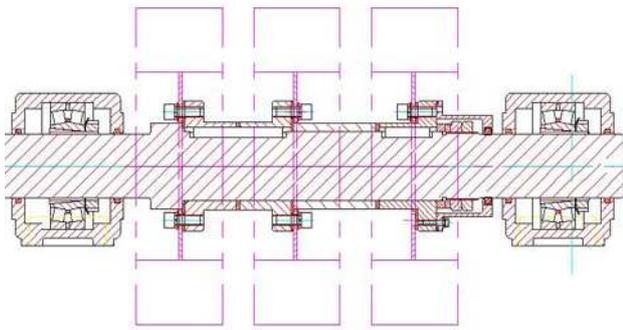
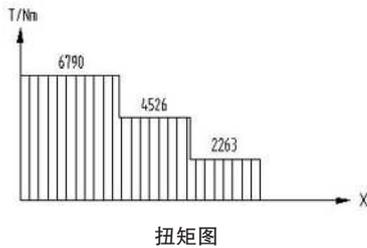
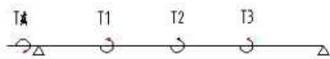
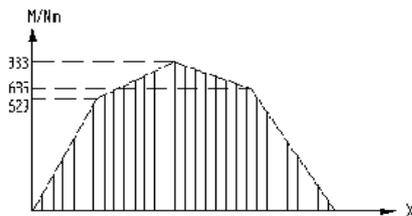
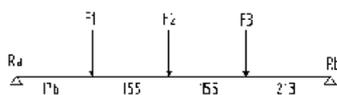


图 3: 驱动装配体



扭矩图



弯矩图

$$R_a + R_b = 6790$$

$$R_a \times 699 = F_1 \times 523 + F_2 \times 368 + F_3 \times 213$$

$$R_a = 3575N \quad R_b = 3215N$$

### (4). 驱动轴的强度验算

驱动轴直径  $d=90\text{mm}$ ,

$$\omega = \pi d^3 / 32 = 71533\text{mm}^3$$

$$\sigma_A = M / \omega = 833000 / 71533 = 11.7\text{Mpa}$$

$$\omega_p = \pi d^3 / 16 = 143066\text{mm}^3$$

$$\tau = T / \omega_p = 47.6\text{Mpa}$$

$$\sigma_{r,3} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = 95\text{Mpa} < [\sigma]$$

### 4. 键强度计算

计算承受最大扭矩的键强度, 每一个轮胎安装两个键,

$$T=3395\text{Nm}$$

挤压强度计算:

$$\sigma_p = (T / R_{\text{轴}}) / kl = 161\text{Mpa}$$

剪切强度计算:

$$\sigma_{\tau} = (T / R_{\text{轴}}) / bl = 35\text{Mpa}$$

T: 键受到的扭矩

k: 键工作面高度

l: 键工作面长度

b: 键工作面宽度

### 6. 轴承寿命计算

$$\text{滚动轴承当量动载荷 } P = f_p F_r \quad f_p = 1.5$$

$$P_1 = 1.5 \times 3575 = 5363N$$

$$P_2 = 1.5 \times 3215 = 4823N$$

$$L_h = 10^6 / 60n [(C/P)^{3.34}] = 9 \times 10^6 h$$

### 三、滚筒结构设计

滚动筛的筛分效果与滚筒的长度、滚筒的旋转速度以及内部叶片节距等因素有关。由上一节产量的计算公式可知, 滚动筛的生产能力与滚筒直径和物料堆叠厚度有关。而产量与筛分效率为反向关系, 当物料堆叠厚度增高时, 筛分效率会下降。因此在其他参数不变的情况下, 提高筛分效率最简便的方式是增加滚筒长度。所以根据资料显示滚筒长度与滚筒直径的关系为  $L=3\sim 5D^{[3]}$ 。

滚筒筛的适宜转速也有一定的要求, 当转速过慢时, 会降低滚动筛产量, 而且会导致筛网堵塞, 影响筛分。转速过快时, 会到达一个临界转速。此时, 滚动筛内部物料会随着内壁一起旋转影响筛分。因此根据资料显示滚筒的圆周速度需在  $v=0.6\sim 1.25$  米/秒之间方可正常筛分。由上节确定的滚筒参数计算滚筒圆周速度  $v = 2\pi Rn = 0.75\text{m/s}$ , 符合转速要求。

滚筒的结构如图 4 所示, 共有二部分组成, 左右圆筒作为支撑点, 与驱动轮胎接触。应选用带有花纹的不锈钢板,

因为在滚动筛停机后初始启动时, 由于摩擦力不足, 容易轮胎打滑, 所以选用花纹钢板可增加摩擦力。中间的圆筒用带有网格的筛网板制成, 起到筛分物料的作用<sup>[4]</sup>。

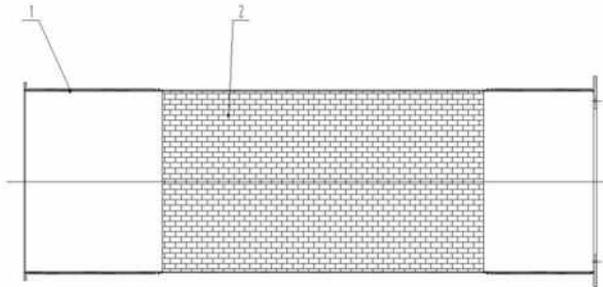


图 4: 滚筒结构图

1: 花纹圆筒 2: 网格筛筒

滚筒内部需要布置叶片, 叶片形式为螺旋结构, 可以在滚筒旋转时不断将物料向前输送。但是滚动筛的叶片与通常运输用叶片有所不同, 因为物料在运输中还需要筛分, 所以在被运输至出口过程中能尽可能多的增加物料与筛网表面接触时间。因此如图 5 所示在叶片排布上, 选择分段式叶片, 即在整个螺旋线中叶片并不是连续不断的, 叶片中间增加适当的空档。这样使得物料在叶片运输时能有一部分物料从空档落入后一螺旋线内, 这样物料在向前行走时能有部分往后退的效果, 可以增加筛分时间。因为考虑到物料有回退的效果, 所以在设计时, 每一螺距增加到 3 线程, 这样物料每次回退约三分之一螺旋, 并不会影响整体滚动筛产量。

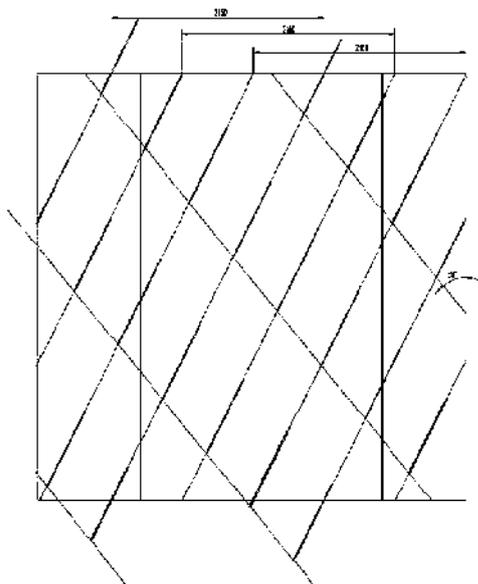


图 5: 叶片分布

#### 四、喷嘴安装

滚动筛适宜处理含有少量粘土杂质的易清洗的砂石物料, 但是在隧道施工中, 盾构机会穿越不同地层, 有些地层的粘性土比较多, 容易堵塞筛孔, 造成跑浆。如图 6 所示, 此区间的粘性土比较多, 粘性也较大, 基本无砂。粘土将筛孔堵塞, 此张照片是在滚动筛出口处拍的。正常情况下, 滚动筛出口应该只有石块和较大的砂石, 细小砂和泥浆会从筛孔落到下层。这种情况下, 滚筒上部两侧应有高压水喷嘴冲洗, 如图 7 所示, 当滚筒下部筛孔筛分泥浆被堵塞后, 下部筛孔旋转上来, 经过两侧水枪清洗, 可以清洗大部分的淤泥, 这样再旋转到下部重新筛分泥浆, 如此反复。图中的滚筒堵塞主要原因是有 1/3 的高压喷嘴堵塞, 还有的喷嘴已无高压水喷出。喷嘴堵塞的原因是喷嘴在河道取水, 杂质较多, 还有管道中的铁锈等杂质容易堵塞喷嘴, 这方面需要现场施工配合, 在取水口增加滤网或更换新管道等<sup>[5]</sup>。



图 6: 滚动筛跑浆

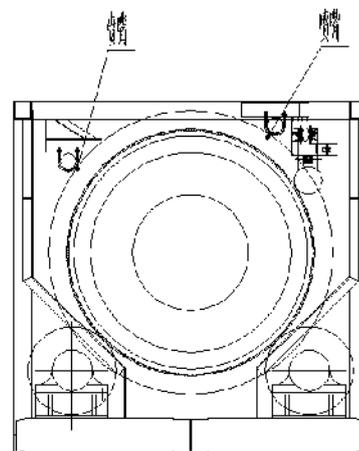


图 7: 高压水喷嘴

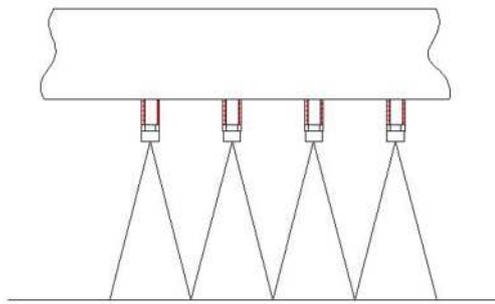


图 8: 喷嘴正确安装

喷嘴选择时, 喷嘴射出的广角、以及相邻喷嘴间隔与喷嘴到滚筒的距离有相互关系, 见图示, 图 8 是喷嘴的正确安装方法, 喷嘴射出后相邻的喷嘴在滚筒表面形成一道连续的直线, 相邻的高压水无干涉, 图 9 是喷嘴错误的安装方式, 相邻的高压水互相干涉, 影响冲洗效果, 需要调整安装, 以达到最佳清洗效果。

#### 五、限位轮设计

滚动筛的滚筒在轮胎上旋转时会上下弹动引起整体的振动, 所以在滚筒上部需要安装限位的滚轮, 如图 10 所示, 限位轮由直径 159 长度 600 的托辊组成。为防止滚筒卡住, 限位轮安装时不能做成完全固定的形式, 所以托辊和安装支

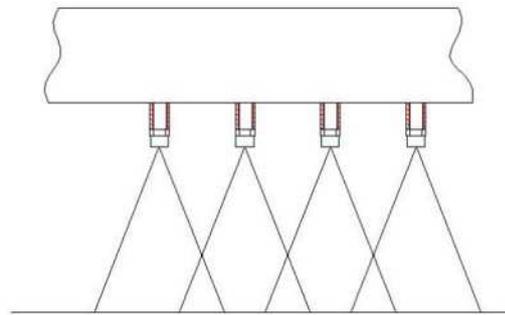


图 9: 喷嘴错误安装

架之间需要安装气囊, 可有一定的压缩性, 使得托辊处于浮动状态。

#### 六、结语

国内使用的泥水滚动筛大多处理量在 1500 方以上, 设备长度超 10 米, 对场地要求高, 不适用于小型集成式的泥水处理系统。本文设计的 500 方小型滚动筛可应用于多种场景, 对场地的限制也比较小, 可以与其他泥水设备做出集成式装备。新设计的滚动筛相比与之前海瑞克进口滚动筛在驱动防锈上也改进了许多, 希望在经过一区间施工后观察驱动锈蚀情况, 反推新驱动设计的合理性。

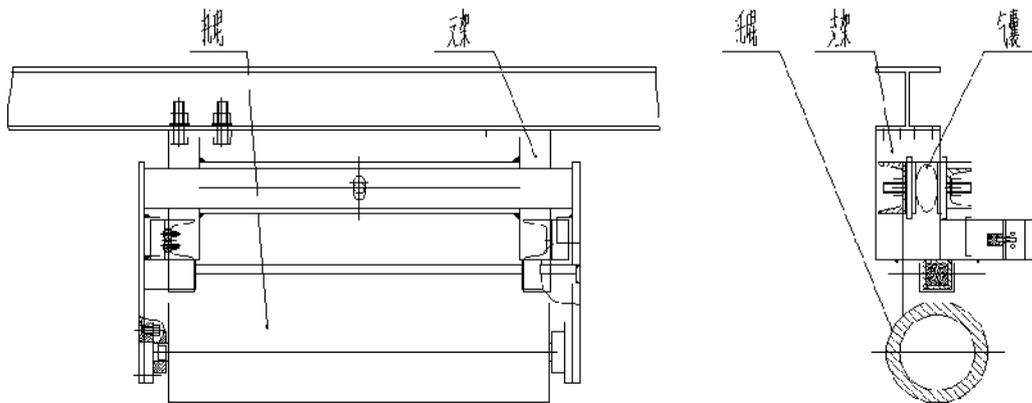


图 10: 限位轮

#### 参考文献:

- [1] 选矿手册第二卷第一分册 ISBN: 9787502410858
- [2] 张晓峰. 建筑垃圾处理中的滚动筛 :CN201721769201.3[P].CN212189945U[2023-11-07].
- [3] 李克原, 商永利. 滚动筛分机的设计制作及其使用效果 [J]. 磷肥与复肥, 1996, 11(2):2. DOI:CNKI:SUN:LFYF.0.1996-02-021.
- [4] 祝井徐, 杜巧存. 一种建筑垃圾处理中的滚动筛 :202220103544[P][2023-11-07].
- [5] 顾国明, 陈卫平. 大直径隧道盾构泥水处理系统的节能环保技术 [J]. 建筑机械化, 2009, 30(10):4. DOI:10.3969/j.issn.1001-1366.2009.10.031.