

## 常压换刀闸门更换专用内刀筒

徐文礼, 姚占虎, 曾德成, 宋思文, 陈淮志, 刘思远, 孙钰斌, 张文超

中交隧道工程局有限公司 北京

**【摘要】**介绍了一种用于盾构机常压更换刀具闸门失效专用内刀筒的结构特点, 论述了专用内刀筒工作步骤, 进行设计计算及有限元分析。

**【关键词】**失效; 工作步骤; 设计计算; 有限元分析

**【收稿日期】**2023 年 1 月 25 日 **【出刊日期】**2023 年 2 月 20 日 **【DOI】**10.12208/j.ijme.20230011

### The Normal Pressure Change Gate Special Inner Cutter Barrel

Wenli Xu, Zhanhu Yao, Decheng Zeng, Siwen Song, Zhunzi Chen, Siyuan Liu, Yubing Sun, Wenchao Zhang  
CCC Tunnel Engineering Company Limited

**【Abstract】**This paper introduces the structural characteristics of a special inner cutter barrel used for the shield machine to replace the cutter gate under normal pressure, discusses the working steps of the special inner cutter barrel, and carries out design calculation and finite element analysis.

**【Keywords】**invalid, working steps, design calculation, finite element analysis

#### 1 概述

近几年, 跟随着国家大基建战略方向, 我国的隧道施工越来越多, 尤其在过江、过海大直径、超大直径泥水盾构机也如雨后春笋般下线。但随着所施工的基建项目距离长、埋深大、多相流复杂恶劣工况等综合因素, 导致盾构机关键部件常压换刀闸门存在失效。失效就会带来舱体淹没及高水压的喷涌灌浆, 严重时导致作业人员生命安全, 同时也严重制约了掘进的效率, 甚至迫使项目停滞。为此如何解决在掌子面易坍塌、砂石泥浆混合复杂环境下周期性更换失效常压换刀闸门迫在眉睫。为了解决高水压、操作难度系数大、风险高更换闸门的难题, 笔者这里主要根据现场施工作业的具体情况, 介绍一种可在线实施更换常压换刀闸门的专用内刀筒的结构特点、工作原理、设计计算及有限元分析。

#### 2 结构特点

专用内刀筒主要结构包括密封刀筒、法兰刀筒、刀筒后盖、刀筒连接件、刀筒卡槽连接件、卡槽连接件压块等。(见图 1)

密封刀筒端部设计有 O 形圈槽, 可装入 O 形密封圈与刀盘内孔形成有效的径向密封, 同时在密封刀筒上设计有双排等距固定孔, 可分别与刀盘固定

沟槽及法兰刀筒连接。为了调整密封刀筒与刀盘沟槽的连接, 又设置了刀筒卡槽连接件及卡槽连接压块配合固定。

法兰刀筒同密封刀筒通过刀筒连接件固定, 法兰刀筒和刀筒后盖通过螺栓连接固定在闸门外筒体上。法兰刀筒采用分段焊接组合成形, 外表面采用电镀 ENP 进行有效保护。为了保证在带压下进行更换闸门, 法兰刀筒的径向、轴向位置与闸门配合有多道 O 形密封圈。

刀筒后盖设计有对称 F 拉块, F 拉块与拉拔油缸配合对专用内刀筒进行带压下拉拔动作。F 拉块侧边设计有锁紧装置, 用来锁定油缸, 有效防止在拉拔过程油缸活塞杆旋转与 F 块脱离所造成的刀筒急速后退所带来的风险。

进一步为了保证拉拔过程的顺利, 在闸门与内筒体径向设计了导向沟槽配合导向环进行导向, 导向环采用铜粉与 PTFE 烧结复合制成, 更进一步有效保证闸门内径与内刀筒外径在运动过程中自润滑与抗咬合。

#### 3 工作步骤

当在大泥水盾构掘进过程中发现常压换刀闸门出现渗水、冒浆、无法稳压等失效状态时, 我们需

要迅速采取果断有效措施, 防止事态进一步恶化。此时我们可采用专用内刀筒进行更换闸门。笔者这里主要根据施工中的实际情况进行阐述。

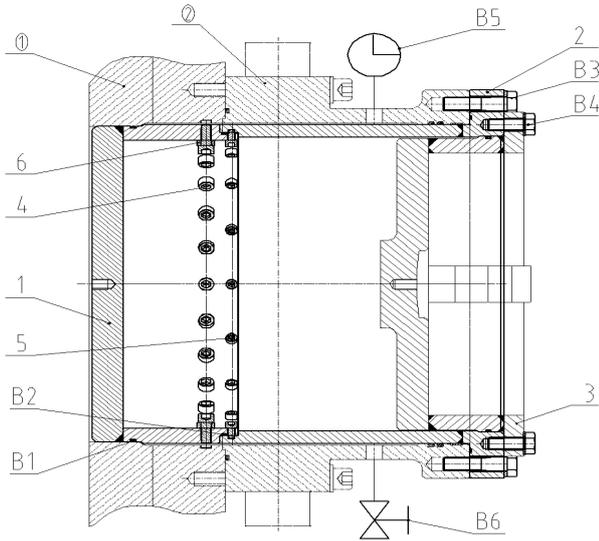


图 1 专用内刀筒装配总装

注: 1 密封刀筒 2 法兰刀筒 3 刀筒后盖 4 刀筒卡槽连接件 5 刀筒连接件 6 卡槽连接件压块 B1 密封件1 B2 密封件2 B3 连接螺栓1 B4 连接螺栓2 B5 压力表 B6 球阀

步骤一、调整盾构机保压系统, 针对刀盘前端掌子面进一步压力维稳, 防止抽出常规内刀筒后造成掌子面坍塌。

步骤二、接入闸门油缸驱动的液压源及拉拔油缸液压源, 点动拉拔油缸液压站, 加压顶住常规内刀筒后盖 F 块, 对称拆除常规内刀筒法兰与闸门外筒体螺栓, 此时务必保证拉拔油缸加压顶出状态。

步骤三、点动拉拔油缸液压站, 保证拉拔油缸处于收缩状态, 当常规内刀筒拔出闸门的闸板后 5-10mm 处, 驱动闸门油缸进行闸门的关闭, 然后将常规内刀筒与闸门外筒体配合形成的腔体内压通过球阀泄放, 直到压力表数值为零。后续间断式通过拉拔油缸拉出常规内刀筒。

步骤四、组装好专用内刀筒, 然后通过手拉葫芦吊起专用内刀筒, 推入闸门外筒体后与拉拔油缸配合, 通过拉拔油缸逐步将专用内刀筒推入到闸板后 5-10mm, 紧接着打开闸门, 进一步通过拉拔油缸推至密封刀筒与刀盘配合。紧接着锁紧法兰刀筒与闸门外筒体的螺栓。

步骤五、拆除专用内刀筒后盖, 手动锁紧刀筒

卡槽连接件、卡槽连接件压块与刀盘沟槽配合。

步骤六、拆除密封刀筒与法兰刀筒之间的刀筒连接件, 拆除法法兰刀筒与闸门外筒体锁紧螺栓, 装入专用刀筒后端盖, 配合拉拔油缸拉出法兰刀筒。

步骤七、后续拆除失效闸门后装入新的常压换刀闸门。

步骤八、拆除密封刀筒及装入常规刀筒按上述相反步骤进行

最终保证了盾构机可以顺利掘进。(关键封堵图见图 2)

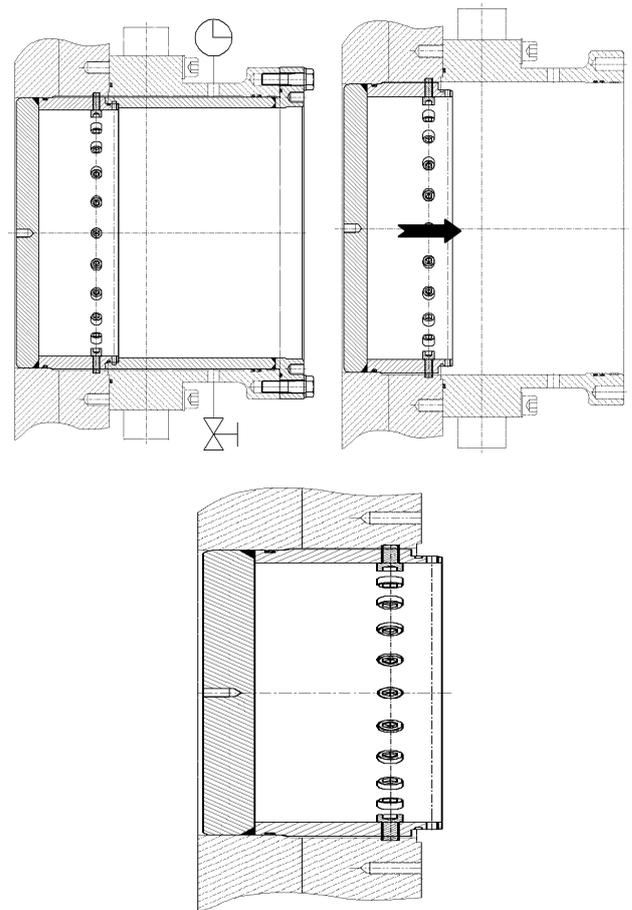


图 2 专用内刀筒关键封堵图

#### 4 设计计算

根据目前项目实际参数可知刀盘掌子面压力 0.8MPa, 内刀筒直径 625mm。因在带压下更换常压换刀闸门, 专用内刀筒在整个更换动作过程中承载水压、推压、推拉载荷。细化到局部细节对比, 我们将计算刀筒整体壁厚、刀筒法兰厚度、固定法兰刀筒螺栓强度、刀筒卡槽连接件强度计算。

##### 4.1 刀筒整体壁厚计算

通过分析, 在带压负载状态下按承压件圆筒壁厚计算如下:  $T=P*D/(2.3[\sigma_L]-P)+C$ ,  $[\sigma_L]$  根据 GB150.2-2011 中钢板 Q345R 取值 133MPa, 计算  $T=6.63\text{mm}$ , 考虑到最终产品的刚度、稳定性、变形及结构设计等综合因素的影响, 结合 GB/T12224 标准, 同时兼顾刀盘掌子面切削硬岩的额外挤压负载, 壁厚最终取值 25mm。

#### 4.2 刀筒法兰厚度计算

通过密封刀筒受力后作用于法兰上, 这里我们简化负载状况分析, 法兰承受水压及土压力。按此推算, 水压密封力  $F_1=0.785D*D*P$ , 计算  $F_1=245312.5\text{N}$ 。土压力  $F_2=300000\text{N}$ , 又因螺栓孔处的力臂长  $L=40\text{mm}$ , 由此可计算作用与法兰上的总力矩  $M=(F_1+F_2)*L$ , 计算  $M=21812500\text{N}\cdot\text{mm}$ 。根据推导公式  $t=1.78*[M/([\sigma_L]*d)]^{1/2}$ , 由设计可知螺栓孔中心圆直径  $d$  为 700mm, 计算法兰厚度  $t=27.2\text{mm}$ 。考虑推拉过程中瞬间交变载荷, 法兰厚度实际取值为 55mm。

#### 4.3 法兰刀筒螺栓强度计算

由法兰刀筒受力可知, 螺栓承载力为水压力与土压力之和, 故  $F_3=F_1+F_2$ 。查标准 GB/T16823.1 可知粗牙 M27 应力截面积  $S$  为  $459\text{mm}^2$ , 通过设计可

知螺栓数量取值 24 颗, 根据受力分析, 螺栓截面应力  $p=F_3/S/N$ , 计算螺栓应力  $p=49.5\text{MPa}$ 。又因选用 10.9 级标准螺栓, 螺栓应力足够小, 符合要求。

#### 4.4 刀筒卡槽连接件强度计算

因载荷的相互传递, 刀筒卡槽连接件主要承受剪切力。如上专用内刀筒工作步骤所述, 当去除法兰刀筒后, 密封刀筒仅仅依靠刀筒卡槽连接件支撑定位, 其与法兰刀筒螺栓承载相同大小的力。由此又知刀筒卡槽连接件数量  $n$  为 24, 直径为 16mm, 故刀筒卡槽连接件剪切应力  $j=F_3/n/s_1$ , 通过计算可知  $j=113\text{MPa}$ 。已知刀筒卡槽连接件材料为 17-4PH, 根据标准可知屈服强度为 725MPa, 对比可知道安全系数  $a=725/113=6.4$ , 足够安全。

### 5 有限元分析

上述专用内刀筒已经过理论及经验公式的推导验算, 为了更直观详尽的优化结构设计, 笔者这里将更进一步采用有限元进行分析局部加载变形状况。

#### 5.1 合力 (见表 1)

#### 5.2 载荷 (见表 2)

#### 5.3 网格细节 (见表 3)

#### 5.4 应力与位移 (见表 4)

#### 5.5 受力图

表 1 合力

零部件	X	Y	Z	合力
反作用力 (N)	2146.4	58.3458	-0.930573	2147.19
反力矩 (N.m)	0	0	0	0

表 2 载荷

载荷名称	加载图像	负载细节
力-1		实体: 24 面 类型: 应用法向力 值: 545313 N

表 3 网格细节

节点总数	21839
单元总数	11720
最大高宽比例	46.513
单元 (%), 其高宽比例 < 3	68.2
单元 (%), 其高宽比例 > 10	3.3
扭曲单元 (雅可比) 的 %	0

表 4 应力与位移

名称	类型	最小	最大
应力 1	VON: von Mises 应力	0.0064 (MPa) 节: 5071	1e+003 (MPa) 节: 14190
名称	类型	最小	最大
位移 1	URES: 合位移	0 mm 节: 1	0.0468 mm 节: 9683

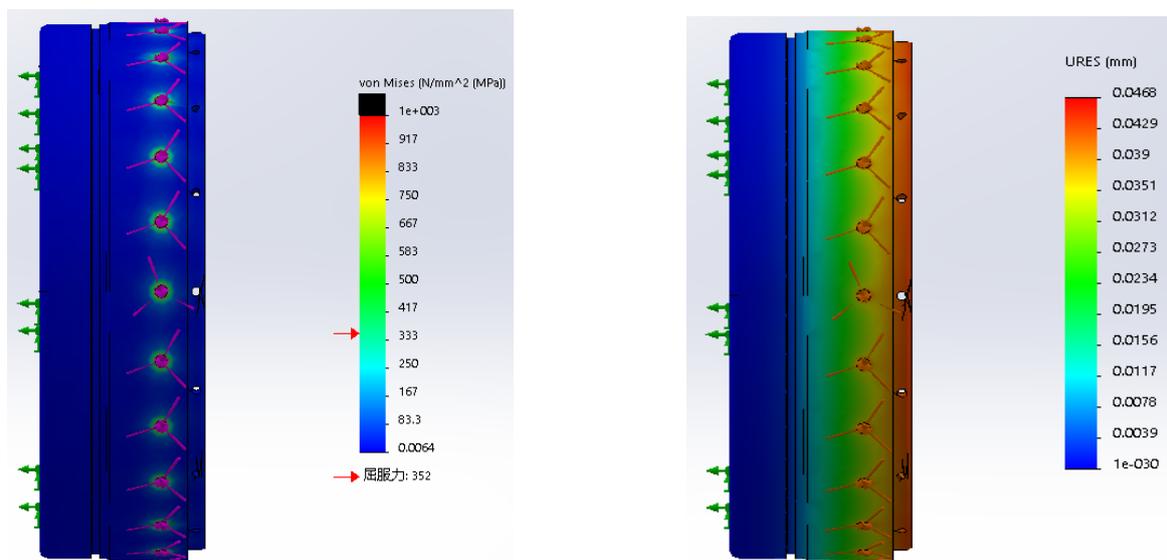


图 3 密封刀筒应力及位移图

## 6 结语

专用内刀筒是一种新型更换失效闸门的装置, 产品结构简单, 安全可靠, 稳定性好, 可满足在复杂苛刻工况下失效闸门的更换, 此装置将更好的服务于隧道掘进施工。

## 参考文献

- [1] GB150.2-2011, 压力容器 第2部分 材料[s]
- [2] GB/T16823.1-1997, 螺纹紧固件应力截面积和承载面积 [s]
- [3] 陆培文. 阀门设计计算手册 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2009

- [4] 刘鸿文. 材料力学 第四版 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004
- [5] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 顾晓晴. 工程力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [7] 王春. 盾构机专用泥浆门[J]. 阀门, 2020, (05): 34-36.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS