



中华人民共和国国家标准

GB/T 35019—2018

全断面隧道掘进机 泥水平衡盾构机

Full face tunnel boring machine—Slurry shield machine

2018-05-14 发布

2018-12-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本参数与型号 4

5 技术要求 5

6 试验方法 9

7 检验规则..... 16

8 随行文件..... 19

9 标志、包装和运输 19

附录 A（资料性附录） 泥水平衡盾构机刀盘扭矩计算方法 21

附录 B（资料性附录） 泥水平衡盾构机盾体推力计算方法 24

附录 C（资料性附录） 泥水平衡盾构机泥浆循环系统计算方法 26

附录 D（资料性附录） 检查记录表 29

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国建筑施工机械与设备标准化技术委员会(SAC/TC 328)归口。

本标准起草单位:北方重工集团有限公司、中国水利水电第三工程局有限公司、中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司、中国水利水电第五工程局有限公司、中铁工程装备集团有限公司、中国铁建重工集团有限公司、中交天和机械设备制造有限公司、北京建筑机械化研究院、四川二滩国际工程咨询有限责任公司、上海隧道工程有限公司机械制造分公司、中铁十六局集团有限公司、中铁第四勘察设计院集团有限公司、中铁十四局集团有限公司、上海市隧道工程轨道交通设计研究院。

本标准主要起草人:邓立营、巫思荣、黄继敏、洪行远、孔凡彬、黄昌富、肖明清、王华伟、刘建伟、刘双、张伯阳、程永亮、吴兆宇、王杜娟、宋振华、王义、赵宏庆、刘慧彬、赵海峰、麻成标、陈金波、庄欠伟、杨顺东、任丽维、韩小亮、何学国、袁亮、全雪勇、孙文昊、陈鹏、周紫晗。

全断面隧道掘进机 泥水平衡盾构机

1 范围

本标准规定了泥水平衡盾构机的术语和定义、基本参数与型号、技术要求、试验方法、检验规则、随行文件、标志、包装和运输。

本标准适用于圆形断面的泥水平衡盾构机。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 150(所有部分) 压力容器
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求
- GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件
- GB 5226.3 机械安全 机械电气设备 第11部分:电压高于1 000 V a.c.或1 500 V d.c.但不超过36 kV 的高压设备的技术条件
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 7932 气动 对系统及其元件的一般规则和安全要求
- GB/T 13306 标牌
- GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 14039 液压传动 油液 固体颗粒污染等级代号
- GB/T 17301 土方机械 操作和维修空间 棱角倒钝
- GB/T 20082 液压传动 液体污染 采用光学显微镜测定颗粒污染度的方法
- GB/T 34354—2017 全断面隧道掘进机 术语和商业规格
- GB/T 34650—2017 全断面隧道掘进机 盾构机安全要求
- GB 50150 电气装置安装工程 电气设备交接试验标准
- GB 50168—2006 电气装置安装工程 电缆线路施工及验收规范
- JB/T 5000.3 重型机械通用技术条件 第3部分:焊接件
- JB/T 5000.10—2007 重型机械通用技术条件 第10部分:装配
- JB/T 5000.11 重型机械通用技术条件 第11部分:配管
- JB/T 5000.13 重型机械通用技术条件 第13部分:包装
- JB/T 10205 液压缸

3 术语和定义

GB/T 34354—2017 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了GB/T 34354—2017 中的某些术语和定义。

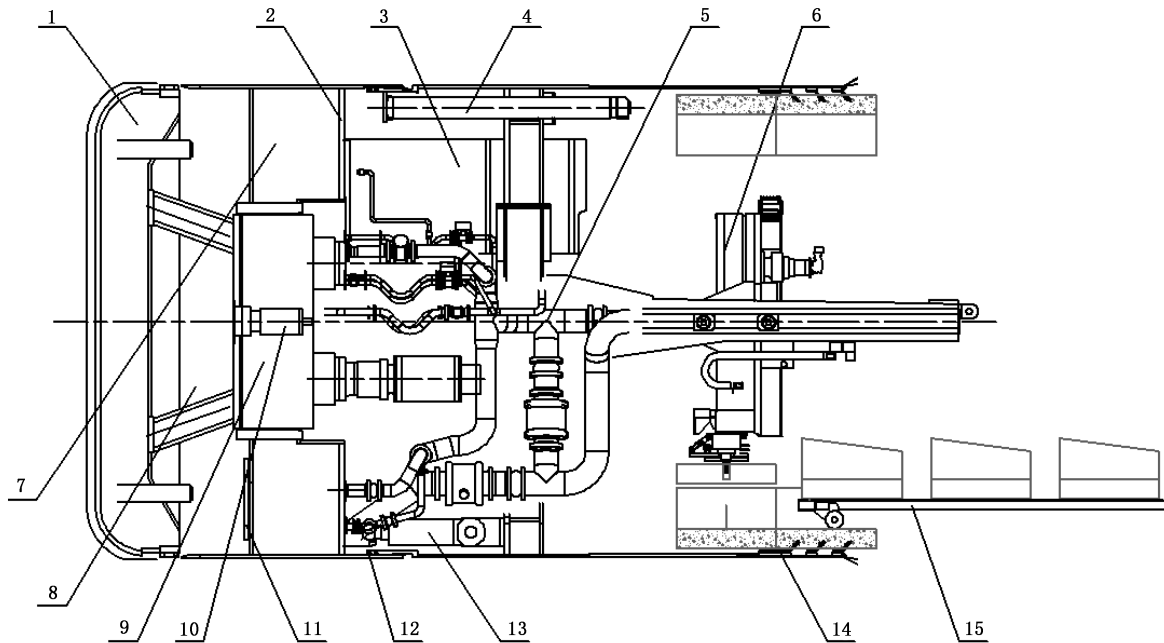
3.1

泥水平衡盾构机 **slurry shield machine**

以泥浆为主要介质平衡隧道开挖面地层压力、通过泥浆输送系统出渣的盾构机。

[GB/T 34354—2017, 定义 2.9]

注：泥水平衡盾构机结构示意图见图 1。



说明：

- | | |
|--------------|---------------|
| 1 —— 刀盘； | 9 —— 主驱动单元； |
| 2 —— 盾体； | 10 —— 中心回转接头； |
| 3 —— 人舱； | 11 —— 安全门； |
| 4 —— 推进液压缸； | 12 —— 铰接密封； |
| 5 —— 泥浆循环系统； | 13 —— 铰接液压缸； |
| 6 —— 管片拼装机； | 14 —— 盾尾密封； |
| 7 —— 气垫仓； | 15 —— 管片输送装置。 |
| 8 —— 泥水仓； | |

图 1 结构示意图

3.2

标称直径 **nominal diameter**

前盾外径。

3.3

开挖直径 **excavation diameter**

刀盘旋转一周，最外端新刀（不包括超挖刀）刀刃形成的轨迹直径。

3.4

装机功率 **installed power**

整机用电设备额定功率的总和，不包括后配套台车以外的设备功率。

3.5

最大工作扭矩 **maximum working torque**

刀盘在工作转速范围内，主驱动单元能够输出的可持续工作的最大扭矩。

3.6

脱困扭矩 **breaking out torque**

刀盘在负载作用下无法转动时，主驱动单元所能够短时输出的最大扭矩。

3.7

扭矩系数 torque coefficient

刀盘驱动扭矩(kN·m)和刀盘开挖直径(m)三次方的比值。

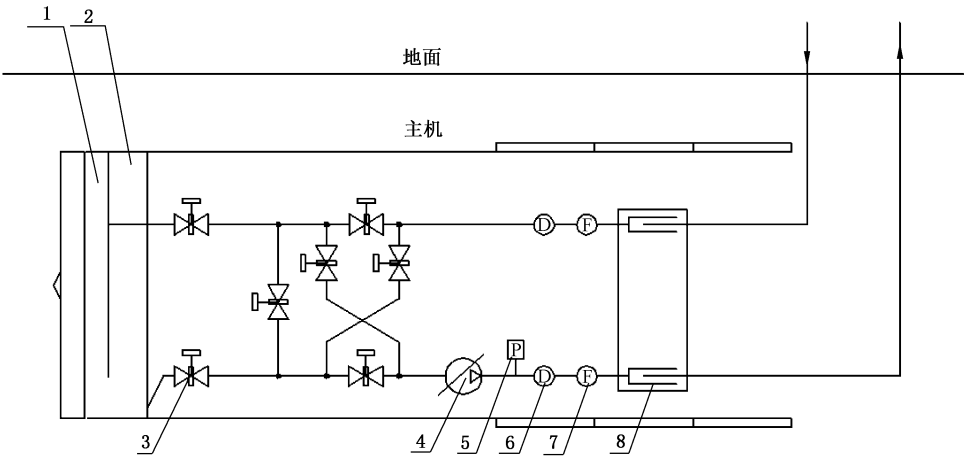
3.8

泥浆循环系统 slurry circulating system

用于泥水平衡盾构机,为泥水仓输送泥浆并通过管路排出渣土,参与开挖面压力平衡控制的系统,主要由泵、阀、传感器、管道及延伸装置等组成。

[GB/T 34354—2017,定义 2.81]

注: 泥浆循环系统原理示意图见图 2。



说明:

- | | |
|---------|-------------|
| 1——泥水仓; | 5——压力传感器; |
| 2——气垫仓; | 6——密度计; |
| 3——泥浆阀; | 7——流量计; |
| 4——泥浆泵; | 8——泥浆管延伸装置。 |

图 2 泥浆循环系统原理示意图

3.9

泥水仓 slurry chamber

泥水平衡盾构机开挖面和隔板(前隔板)之间的仓室。

[GB/T 34354—2017,定义 2.35]

3.10

气垫仓 air cushion

泥水平衡盾构机前隔板和后隔板之间、利用压缩空气(气垫)稳定开挖面水土压力的仓室。

[GB/T 34354—2017,定义 2.36]

3.11

泥浆管延伸装置 slurry pipeline extension device

泥水平衡盾构机中用于进浆管和排浆管延伸连接的装置。

[GB/T 34354—2017,定义 2.82]

3.12

掘进模式 excavation mode

泥浆循环系统维持开挖面平衡和排渣的工作状态。

3.13

旁通模式 bypass mode

泥浆循环系统中进浆泵与排浆泵直接连通,泥浆循环与泥水仓隔绝的状态。

3.14

隔离模式 insulation mode

隧道内的泥浆管路与地面上的泥浆管路隔离的状态。

3.15

逆洗模式 Inversion mode

主机区域的新浆液从排浆管路进入泥水仓,泥水仓中浆液从进浆管排出的状态。

3.16

补浆模式 complementary slurry mode

在非掘进状态下,自动补充浆液保持泥水仓液位或保持泥水仓压力的工作状态。

3.17

超挖刀 reamer cutter/over cutter

伸出刀盘外周对开挖直径外土体进行超挖的刀具。

3.18

仿形刀 copy cutter

按设定超挖轨迹进行切削的超挖刀。

3.19

安全门 safety gate

在泥水仓和气垫仓之间,前盾前隔板下部隔断泥浆的装置。

4 基本参数与型号

4.1 基本参数

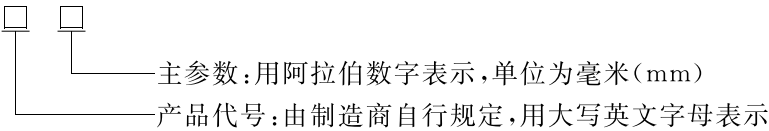
泥水平衡盾构机基本参数如下:

- 标称直径,单位为毫米(mm);
- 开挖直径,单位为毫米(mm);
- 刀盘最大转速,单位为转每分(r/min);
- 刀盘驱动功率,单位为千瓦(kW);
- 设计最大推进速度,单位为毫米每分(mm/min);
- 设计最大推力,单位为千牛(kN);
- 适应最大水土压力,单位为兆帕(MPa);
- 适应管片尺寸(外径/内径-宽),单位为毫米(mm);
- 最小水平转弯半径,单位为米(m);
- 滚刀数量,单位为刃;
- 刮刀数量,单位为把;
- 允许最大坡度,%;
- 主机长度,单位为米(m);
- 主机质量,单位为千克(kg);
- 总长度,单位为米(m);
- 总质量,单位为千克(kg);
- 装机功率,单位为千瓦(kW);
- 最大不可分割件质量,单位为千克(kg);

- 最大进浆流量,单位为立方米每小时(m^3/h);
- 进浆密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- 最大排浆流量,单位为立方米每小时(m^3/h);
- 排浆密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);
- 进浆管通径,单位为毫米(mm);
- 排浆管通径,单位为毫米(mm);
- 泥浆泵允许通过最大粒径,单位为毫米(mm);
- 泥浆管延伸行程,单位为米(m)。

4.2 型号

产品型号由产品代号和主参数组成,主参数为标称直径,其表示方法如下:



5 技术要求

5.1 一般要求

- 5.1.1 焊接件应符合 JB/T 5000.3 的规定。
- 5.1.2 装配应符合 JB/T 5000.10 的规定。
- 5.1.3 管路装配应符合 JB/T 5000.11 的规定。
- 5.1.4 部件不能满足运输要求时应进行分块设计。
- 5.1.5 设备安全要求应符合 GB/T 34650 的规定。
- 5.1.6 开挖直径偏差范围应为 $0\text{ mm}\sim+4\text{ mm}$ 。
- 5.1.7 产品设计应为智能化制造、绿色环保、再制造提供条件。

5.2 刀盘与刀具

- 5.2.1 刀盘背面应配置表面耐磨处理的搅拌棒。
- 5.2.2 刀盘表面及周边等易磨损部位应根据地层情况采取相应的耐磨措施。
- 5.2.3 刀盘最外侧刀具相对盾体的高差应满足设计要求。
- 5.2.4 刀盘宜配置超挖刀或仿形刀,超挖量应符合设计要求。
- 5.2.5 刀盘内管路耐压性能应符合 JB/T 5000.11 的规定。
- 5.2.6 刀盘的强度和刚度应满足设计要求。
- 5.2.7 除刀盘最外端新刀外,其他刀具的安装半径偏差范围应为 $-2\text{ mm}\sim+2\text{ mm}$ 。
- 5.2.8 正面刀的刀刃高度偏差不应大于 2 mm 。
- 5.2.9 滚刀挡圈侧应朝向刀盘中心位置。
- 5.2.10 根据项目和地层情况宜配置刀具磨损检测装置。

5.3 盾体

- 5.3.1 盾体外径偏差和圆柱度应符合设计要求。
- 5.3.2 盾体的强度和刚度应满足设计要求。
- 5.3.3 水土压力不大于 0.4 MPa 时盾尾刷不应少于 3 道,大于 0.4 MPa 时盾尾刷宜不少于 4 道。
- 5.3.4 盾尾同一个油脂腔两个相邻油脂孔的弧线长度不宜大于 3.5 m 。
- 5.3.5 尾盾内宜配置备用注浆管路,管路应预留清洗接口。

- 5.3.6 气垫仓应配备正常供气和紧急供气双气路。
- 5.3.7 盾体应有径向注入孔。
- 5.3.8 前盾内构成气垫仓的所有焊缝均应密封焊。
- 5.3.9 泥水仓与气垫仓之间应配置安全门和检测安全门开度大小的行程传感器。
- 5.3.10 在气垫仓内宜设置两套泥水液位传感器。
- 5.3.11 前盾上应预留压缩空气、水、电通道,并配置压力传感器。

5.4 主驱动单元

- 5.4.1 主轴承的设计寿命不应小于 10 000 h。
- 5.4.2 扭矩应根据围岩条件、盾构形式确定。扭矩系数不应小于 10,扭矩计算方法参见附录 A。
- 5.4.3 主驱动宜配置扭矩限制装置。
- 5.4.4 脱困扭矩不应小于最大工作扭矩的 1.2 倍。
- 5.4.5 主驱动单元应能双向旋转,具有调速功能,最大转速满足设计要求。
- 5.4.6 应具有慢速点动功能,点动时,转速不应大于 0.2 r/min。
- 5.4.7 主驱动油脂密封润滑系统应具备压力和流量检测报警功能。
- 5.4.8 主驱动系统与推进系统应具有联锁控制功能。
- 5.4.9 润滑系统应配置冷却和过滤装置、油温检测元件。

5.5 人舱

- 5.5.1 应由具备专业资质的制造商设计制造,并满足 GB/T 150 的要求。
- 5.5.2 以工作压力进行气密性试验,保压 30 min,压力下降值不应大于工作压力的 6%。
- 5.5.3 舱外和舱内应设置独立的加、减压控制系统。
- 5.5.4 人舱内外应设置机械式应急排气阀,配置永久性红色警示标记。
- 5.5.5 宜位于盾体中/上部,与泥水仓连接的舱门应设计为向人舱方向开启。
- 5.5.6 应配置全气动压力调节装置,在供电系统断电时系统仍能正常工作。
- 5.5.7 人舱内外及各舱室之间应配备通讯系统,通讯系统在供电系统断电时仍能正常工作。
- 5.5.8 应配备水、压缩空气接口,不应设置电气插拔装置。
- 5.5.9 应设置安全阀,安全阀设定压力为最大工作压力的 1.1 倍。

5.6 推进系统

- 5.6.1 系统的结构和性能应满足泥水平衡盾构机掘进、管片拼装的功能要求。
- 5.6.2 应具有防后退功能。
- 5.6.3 泥水平衡盾构机单位开挖面积(m^2)的最大推力不应小于 1 000 kN。
- 5.6.4 推进液压缸的撑靴比压不应大于管片的设计强度。
- 5.6.5 推进模式下,推进液压缸的最大推进速度应满足设计要求,伸出速度应连续可调。
- 5.6.6 管片拼装模式下,推进液压缸的伸缩速度应满足设计要求。
- 5.6.7 推进液压缸行程偏差不应大于 $\pm 2 \text{ mm}$ 。
- 5.6.8 盾体推力计算方法参见附录 B。

5.7 管片拼装机

- 5.7.1 应能够实现抓持、提升、平移、回转及定位动作,回转速度满足设计要求。
- 5.7.2 回转机构的小齿轮与回转大齿轮啮合接触点应符合 JB/T 5000.10—2007 中 6.3 的规定。
- 5.7.3 采用机械锁固的抓取装置安全系数不应小于 1.5,非机械锁固的抓取装置安全系数不应小于 2.5。
- 5.7.4 在断电情况下,真空吸盘式管片拼装机应保证仍能吸持管片的时间不小于 20 min,且真空度不

低于 80%。

5.7.5 沿周向顺、逆时针旋转角度不应小于 200°。

5.7.6 纵向行程宜满足在隧道内更换两道盾尾刷的需要。

5.7.7 刹车装置应能可靠制动。

5.7.8 应进行载荷试验,静载试验载荷为设计最重管片重量的 1.25 倍,动载试验载荷为设计最重管片重量的 1.1 倍。

5.7.9 应具备无线和有线两种控制方式,无线遥控有效控制范围应覆盖工作区域。

5.8 泥浆循环系统

5.8.1 系统应具有能实现掘进、旁通、隔离、逆洗和补浆工作模式的功能,模式切换的阀门动作满足设计要求。

5.8.2 气垫仓工作压力控制波动范围不应大于设计压力的 3%。

5.8.3 破碎装置应具有自动和手动启动方式,破碎后的渣土粒径应小于泥浆泵允许通过的最大粒径。

5.8.4 在刀盘中心和排渣口区域宜设置高压冲刷口。

5.8.5 应配有进排浆密度、压力和流量检测装置。

5.8.6 泥浆泵的驱动电机转速应连续可调。

5.8.7 泥浆管延伸装置宜满足单次管路延伸长度不小于 6 m 的要求。

5.8.8 泥浆泵进、出口应配置压力传感器及软连接。

5.8.9 主机区域排浆管路转弯段内壁应有耐磨措施,并应减少弯管布置。

5.8.10 主控室内应设置泥水循环系统急停按钮。

5.8.11 前盾底部宜设置备用泥浆出口,并安装手动闸阀。

5.8.12 在气垫仓底部,排浆管入口前应设置格栅。

5.8.13 泥浆循环系统基本参数计算参照附录 C。

5.9 液压系统

5.9.1 液压系统应符合 GB/T 3766 的规定。

5.9.2 液压缸应符合 JB/T 10205 的规定。

5.9.3 液压油箱应设置液压油冷却装置,冷却能力应满足降温需要。

5.9.4 液压油箱应配有液位、油温检测及高温报警装置。

5.9.5 油液固体颗粒污染等级不应低于 GB/T 14039 规定的一/18/15。

5.9.6 各子系统应设置测压点。

5.9.7 应设置滤芯堵塞检测及报警装置。

5.10 电气系统

5.10.1 低压配电系统平均功率因数不应低于 0.9。

5.10.2 低压供配电应设置两级漏电保护、短路保护、过载保护和断相保护装置。

5.10.3 高压开关柜应具有短路、过载保护功能,宜具有外部分励脱扣装置。

5.10.4 主驱动电机及照明灯具防护等级不应低于 IP65,其他电气设备外壳防护等级不应低于 IP55。

5.10.5 控制系统应采用集散方式,通讯系统应采用现场总线网络方式。

5.10.6 控制电源应采用稳压电源。

5.10.7 电气设备及线路的绝缘电阻应符合 GB 50150 的规定。

5.10.8 电缆的敷设应符合 GB 50168—2006 中 5.1、5.3、5.4、6.1 和 6.2 的规定。

5.10.9 应配备高压电缆储存延伸装置。

5.10.10 应急照明照度不应低于 15 lx,工作时间不应低于 1 h。

5.10.11 盾体内部、管片拼装机区域的照度不应低于 100 lx;主控室内照度不应低于 150 lx。

5.10.12 主机及后配套拖车应配置备用电源插座。

5.11 数据采集系统

5.11.1 应具有实时监控、实时/历史曲线显示、报警及主控室重要操作和重要历史数据的记录及查询、掘进数据报表生成等功能。

5.11.2 应预留远程数据传输接口。

5.11.3 应配置不间断电源,供电时间不低于 1 h。

5.11.4 信息储存容量不应小于 500 GB。

5.12 导向系统

5.12.1 导向系统应具备设计轴线管理、空间位置检测、姿态检测、图形显示、测量基点校核及盾构自动控制系统通讯等功能。

5.12.2 直线段有效测量距离不应小于 200 m,角度测量精度不应小于 2"。

5.13 辅助系统

5.13.1 铰接系统转弯能力应满足隧道最小转弯半径要求。

5.13.2 管片吊机抓举能力不应低于管片拼装机的抓举能力。

5.13.3 注浆系统能力应按不低于 150% 的浆液注入率计算。

5.13.4 注浆系统应有泵体和注浆管路清洗、压力控制和流量控制及自动计量功能,并有手动与自动两种控制模式。

5.13.5 空气压缩机的额定压力不应低于 0.8 MPa,排气量应不低于同时工作时最大用气量的 1.5 倍。

5.13.6 保压系统在断电时应能正常工作。

5.13.7 工业水系统宜采用内外循环水冷却方式,内循环应采用软水。

5.13.8 主驱动电机、减速机、变频器等宜采用强制水冷方式,并应设置冷却水温度检测报警装置。

5.13.9 应配置水管储存延伸装置。

5.13.10 在后配套拖车上应预留用水接口。

5.13.11 供排水系统应能满足正常施工需要。

5.13.12 应配备二次通风系统,后配套尾端的回风速度不应小于 0.3 m/s。

5.13.13 储风筒储存风管长度不应小于 100 m,应配备升降装置。

5.13.14 气动系统应符合 GB/T 7932 的规定。

5.14 职业健康与环境安全

5.14.1 设备安全要求应符合 GB/T 34650 的规定。

5.14.2 主控室应配置空调设备,并且具备隔热、隔音、减震功能,主控室内的噪声不应高于 70 dB(A)。

5.14.3 电气安全装置应符合 GB 5226.1、GB 5226.3 的规定。

5.14.4 电气设备应配置警告标志,高压电设备周围应配置防护隔离装置。

5.14.5 操作维护区域内棱角应符合 GB/T 17301 的规定。

5.14.6 声光报警装置输出的最低音量值比施工环境噪声至少高出 10 dB(A)。

5.14.7 应配置气体监测系统,至少能检测 O₂、CH₄、H₂S、CO 气体的浓度。

5.14.8 人舱应配置气体检测,至少应能检测 O₂、CH₄、CO 和 CO₂ 气体的浓度,舱内气体应符合进仓人员呼吸要求。

5.14.9 后配套拖车的出入口处、主控室内应当设置醒目的紧急信息指示牌,指示牌应包括疏散路线、救护设备和灭火设备存放位置等。

- 5.14.10 盾体和后配套拖车应配置灭火器。
- 5.14.11 应在主控室、人舱内外、电控柜、盾体平台、注浆系统现地操作箱位置配置电话通信系统。
- 5.14.12 管片拼装区域、钢轨铺设区域和拖车尾部应配置视频监视设备,主控室设置显示终端。
- 5.14.13 应配置应急发电机,功率至少应满足空气压缩机、带真空吸盘式管片拼装机液压泵用电的需求,并具有断电自动启动功能。
- 5.14.14 紧邻气垫仓的进、排浆阀应具有紧急关闭功能。
- 5.14.15 在盾体内、主控室操作台、控制柜和拖车上应设置整机急停按钮。
- 5.14.16 泥水管路不应与高压电缆同侧布置。

6 试验方法

6.1 测试条件

- 6.1.1 环境温度宜为 5℃~35℃,空气相对湿度小于 90%。
- 6.1.2 试验场地应满足承载设备要求。
- 6.1.3 试验用仪器仪表应检查和校准,仪器仪表包括:全站仪、钢卷尺、钢直尺、直角尺、吊线锤、秒表、兆欧表、照度仪、声级计和风速仪。主要仪器仪表的推荐量程及精度如下:
 - a) 全站仪角度测量精度不应低于 2",采用标准棱镜的测距标准偏差为 $1\text{ mm}+1.5\times 10^{-6}$;
 - b) 兆欧表额定电压为 500 V(低压系统)和 2 500 V(高压系统)两种,准确度达到 20 级以上;
 - c) 照度仪总量程为 0 lx~500 lx,照度精度 $\pm 3\%$ rdg;
 - d) 声级计选用参照 GB/T 34650,性能不应低于 2 型仪器的要求;
 - e) 风速仪风速测量范围为 0.3 m/s~5 m/s,分辨率 0.1 m/s。

6.2 目测检查

- 6.2.1 设备的布置状态、动作状态、显示状态。
- 6.2.2 检查不应拆解部件。

6.3 检测数据采集

试验检测时,单项数据采集次数不应少于 3 次,并与规定值进行比对。

6.4 整机

6.4.1 开挖直径

在刀盘已安装到泥水平衡盾构机条件下,选定并标识水平及垂直方向基点,旋转刀盘,用全站仪测量开挖直径。

6.4.2 最大转速

刀盘顺/逆时针旋转,转速由零调至最大,运行平稳后用秒表测量刀盘旋转 3 转的时间,计算刀盘正/反转最大转速,并与设计值进行对比。

6.4.3 设计最大推力

掘进机最大推力按式(1)计算:

$$F = \frac{\pi}{4} \times D_T^2 \times p \times Z \dots\dots\dots (1)$$

式中:
F ——掘进机最大推力,单位为牛(N);

- D_T ——推进油缸无杆腔缸径,单位为毫米(mm);
 p ——泵出口设计最大压力,单位为兆帕(MPa);
 Z ——推进液压缸的数量,单位为个。

6.4.4 最大推进速度

在空载状态下,控制所有推进液压缸同时伸出,用秒表测量全部达到最大行程时间,计算得出最大推进速度。

6.5 刀盘与刀具

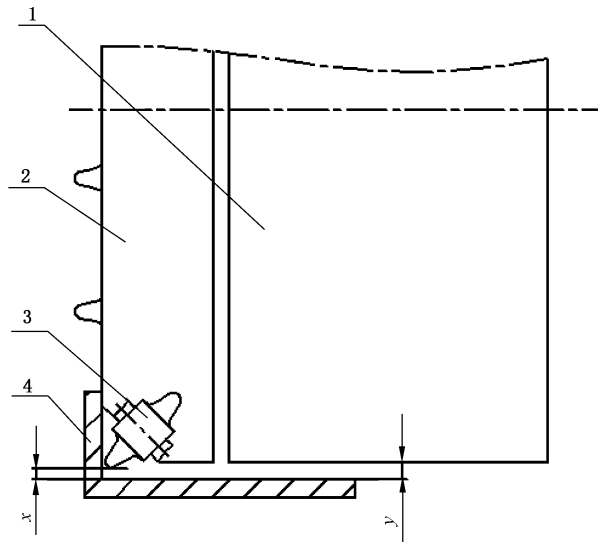
6.5.1 耐磨

用便携式硬度计测量各耐磨表面的硬度,其值应符合设计要求。耐磨堆焊的条纹密度和图案应符合图样的规定。

6.5.2 最外侧刀具相对盾体高差

最外侧刀具相对盾体高差检测步骤如下:

- 在刀盘最外侧刀具位置固定检测装置,见图 3;
- 用钢板尺测量最外侧刀具刀刃与检测装置的径向距离 x ,测量结果记入表 D.1;
- 将盾体等分成 12 个区域,缓慢转动刀盘,用钢板尺测量各区域检测装置与盾体的最小距离 y ,测量结果记入表 D.1,计算得出盾体高差($y-x$)值。



说明:

- 1——前盾;
 2——刀盘;
 3——最外侧刀具;
 4——检测装置。

图 3 刀盘外侧刀具相对盾体的高差测量示意图

6.5.3 管路耐压

按 JB/T 5000.11 中的方法进行刀盘内部管路耐压试验。

6.5.4 刀具安装半径

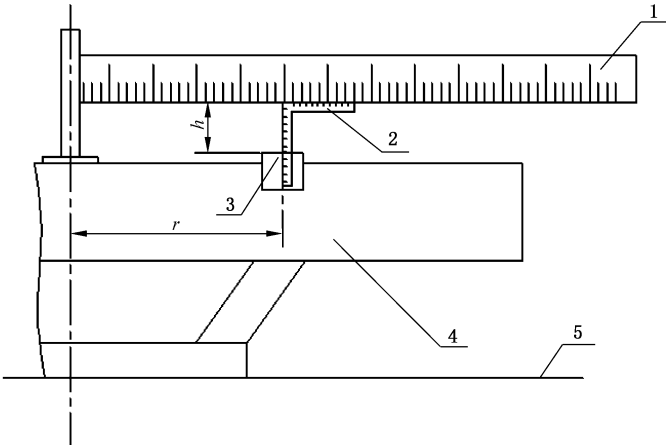
刀具安装半径检测步骤如下：

- a) 将刀盘放置于水平平台上；
- b) 将测量工装固定于刀盘面板中心,调整工装测量面使之水平；
- c) 直角尺水平边紧靠测量工装,竖直边与刀具刀刃中心线对齐,见图 5；
- d) 记录直角尺对应工装上的刻度值 r ；
- e) 依次测出每件刀具的轨迹半径 r ,与设计要求值对比。

6.5.5 刀具刀刃高度尺寸公差

刀具刀刃高度尺寸公差检测步骤如下：

- a) 将刀盘放置于水平平台上；
- b) 将测量工装固定于刀盘面板中心,调整工装测量面使之水平；
- c) 直角尺水平边紧靠测量工装,竖直边与刀具刀刃最高点对齐,见图 4；
- d) 记录直角尺水平边到刀具最高点的刻度值 h ；
- e) 依次测出每件刀具的竖向尺寸 h ,计算最大偏差值。



- 说明：
- 1——测量工装；
 - 2——直角尺；
 - 3——刀具；
 - 4——刀盘；
 - 5——水平基准面。

图 4 刀具安装半径和刀具刀刃高度尺寸公差检测示意图

6.6 盾体

6.6.1 盾体外径偏差

盾体外径偏差检测步骤如下：

- a) 加工端面朝下,将盾体放置在水平平台上,见图 5；
- b) 在盾体顶部安装检测工具,初步确定外圆中心；
- c) 将线锤固定在与盾体外圆相距约 50 mm 检测工装上；
- d) 转动检测工装,用直尺按米字测量各处 $a \sim d$ 距离值,记入表 D.2；
- e) 用线锤所在半径值减去所有 $a \sim d$ 距离值,计算各成对半径的和,求得盾体直径值,用最大直

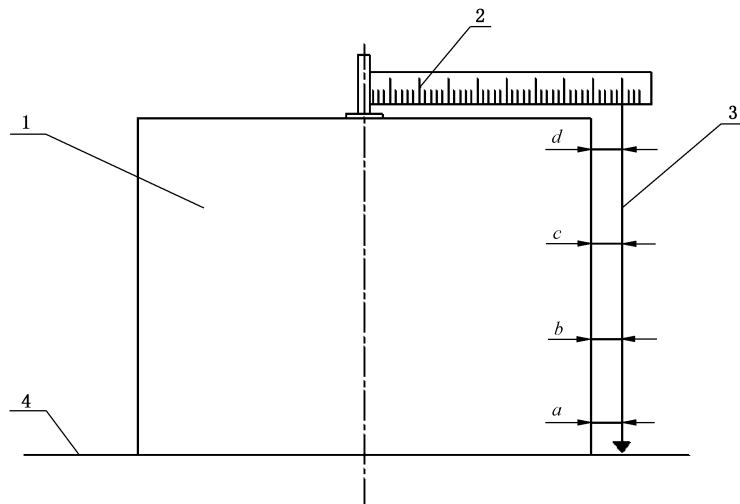
径减去最小直径,得到外径偏差;

- f) 根据各 $a \sim d$ 距离偏差,可重调检测工装中心,按以上 a)~e) 步骤重测,此时根据需要改变测量角度,增加测量次数,测得多组 $a \sim d$ 距离值。

6.6.2 盾体圆柱度

盾体圆柱度检测步骤如下:

- a) 按 6.6.1 测得的 $a \sim d$ 距离值,见图 5;
 b) 在水平圆上用各水平圆中最大值减去最小值,得到盾体圆度,如: $a_{\max} - a_{\min}$;
 c) 根据 a)、b) 测得的直线度和圆度,计算出圆柱度。



说明:

- 1——盾体(前盾/中盾/尾盾);
 2——测量工装;
 3——线锤;
 4——水平平台面。

图 5 盾体外径偏差和圆柱度检测示意图

6.6.3 油脂孔弧线长度

沿尾盾内壳表面周长方向,用钢卷尺测量相邻油脂管间的距离。

6.6.4 气垫仓压力测试

工地组装完成具备试掘进条件后,对气垫仓充气进行压力测试,试验压力应为设计压力的 1.1 倍。

6.6.5 安全门开口大小

在主控室操作安全门,检测安全门的开、闭、中位。对比实测尺寸与主控室的显示位置尺寸。

6.7 主驱动单元

6.7.1 主轴承寿命

检查并核对主轴承厂家提供的寿命计算文件。

6.7.2 慢速点动

点动旋转刀盘,现场用秒表测量刀盘转速。

6.7.3 密封润滑

启动主驱动单元润滑系统,从前盾正面观察油脂是否从密封间隙处渗出,检查压力、流量显示。

6.7.4 连锁控制

在刀盘未旋转情况下启动推进模式,检查连锁控制。

6.8 人舱

压力测试检测步骤如下:

- a) 关闭所有舱门;
- b) 打开各舱室进气阀;
- c) 试验压力为人舱工作压力;
- d) 关闭进气球阀,保压 30 min。

6.9 推进系统

6.9.1 速度连续可调

在空载状态下,依次伸出各分区带有位移传感器的推进液压缸,伸出过程中调节推进速度旋钮,观察上位机速度显示。

6.9.2 伸缩速度

启动管片安装模式,推进液压缸全行程伸、缩,用秒表记录伸、缩时间,计算得出伸、缩速度。

6.10 管片拼装机

6.10.1 回转速度

管片拼装机抓取设计最重管片状态下,进行提升、平移、回转及定位动作,用秒表记录动作时间,计算得出回转速度。

6.10.2 安全系数

检查并核对抓取装置安全系数的计算文件。

6.10.3 吸持状态

管片拼装机抓取设计最重管片状态下,切断动力源,20 min 后观察管片的吸持状态及真空表显示值。

6.10.4 旋转角度

管片拼装机正逆时针旋转,旋转位置应达到拼装机上标定位置。

6.10.5 纵向行程

用钢卷尺测量管片拼装机纵向行程,并核查图纸规定行程值。

6.10.6 制动性能

管片拼装机抓取设计最重管片状态下,旋转过程中关闭动力源,检查制动性能。

6.10.7 抓取载荷试验

载荷试验包括静载试验和动载试验,试验方法如下:

- a) 静载试验:抓取机构静载试验载荷为设计最重管片重量的 1.25 倍,抓取时间 10 min 以上,观察管片拼装机的状态;
- b) 动载试验:抓取机构动载试验载荷为设计最重管片重量的 1.1 倍,分别进行全行程的提升、平移、回转及定位动作,观察管片拼装机的运行状态。

6.11 泥浆循环系统

6.11.1 工作模式

在掘进、旁通、隔离、逆洗及补浆模式下,检测对应的阀门状态。

6.11.2 工作压力精度

在现场掘进过程中,检查主控室界面上显示的气垫仓压力值的波动范围。

6.11.3 破碎渣土粒径

分别检查破碎装置在自动及手动模式下工作状态,用钢直尺检查破碎装置排出渣土的最大粒径。

6.11.4 高压冲刷口

检查刀盘中心和排渣口区域的冲刷口设置及冲刷系统装配情况。

6.11.5 进排浆压力、密度及流量传感器

检查主控室界面显示进排浆压力、密度及流量参数的准确性。

6.11.6 泥浆泵调速

操作泥浆泵电机,观察转速变化。

6.11.7 泥浆管延伸行程

操作泥浆管延伸装置移动架,测量移动架起停行程。

6.11.8 泥浆系统紧急停止

按下主控室操作台上控制泥浆循环系统的急停按钮,检查泥浆系统是否停止运转。

6.12 液压系统

6.12.1 油温报警

设定温度传感器油温报警、停机试验值,启动液压系统,当油温分别升高至设定的报警或停机试验值时,观察控制面板报警指示或停机状态,并用温度计测量油温进行比对。

6.12.2 污染度

按 GB/T 20082 的测定方法,检测液压油污染度。

6.12.3 滤芯堵塞报警

模拟过滤器堵塞故障,在主控室界面上检查报警功能工作状态。

6.13 电气系统

6.13.1 漏电保护功能

逐一按压回路漏电保护装置的测试开关,观察开关是否跳开;合上开关后,观察是否恢复回路供电。

6.13.2 绝缘

用高低压电源摇表检测电气设备和线路的绝缘电阻值。

6.13.3 应急照明

在断电状态下,用秒表测量应急照明的后备供电时间,并用照度仪测量照度值。

6.13.4 照明

在通电状态下,用照度仪测量工作区域和人行通道的照度。

6.14 数据采集系统

6.14.1 数据记录、查询及报表生成

检查主控室界面工作参数及故障显示状态,测试数据自动记录及生成报表功能。

6.14.2 远程数据传输接口

施工掘进时,在地面监控室查看掘进数据和视频图像。

6.14.3 不间断电源持续供电时间

断电后用计时器检查不间断电源持续供电时间。

6.15 导向系统

6.15.1 设计轴线管理

输入数据与设计数据允许的偏差值,模拟输入错误的设计轴线数据,使测量数据与设计轴线的偏差大于允许误差,观察导向系统是否发出警告。

6.15.2 导向系统测量精度

检查主控室导向系统画面显示的测量精度及距离。

6.16 辅助系统

6.16.1 最小转弯半径

采用模拟方法验证最小转弯半径有效性。

6.16.2 刀盘驱动传动机构冷却润滑系统

检查刀盘驱动传动机构冷却系统润滑管路连接是否正确,模拟过滤器堵塞故障,在主控室界面上目视检查测温元件及报警功能工作状态。

6.16.3 二次通风系统回风速度

在隧道施工及二次风机运行正常条件下,用风速仪检测工作区域回风速度。

6.17 职业健康与环境安全

6.17.1 噪声

用声级计检测主控室噪声,检测方法按照 GB/T 34650—2017 附录 C 的规定执行。

6.17.2 声音报警音量值

掘进作业时,用声级计在距离声音警报装置 1 m 的四周测量报警装置的音量。

6.17.3 气体监测系统

依次使用 O₂、CH₄、H₂S 标准气体分别对安装于主驱动中心位置、除尘风机出风口处的气体监测系统进行测试,将标准气体容器通过管路连接至气体监测系统进气口,气瓶喷嘴与集气罩距离不应大于 5 mm,查看报警状态和浓度值。气体监测系统监测 O₂ 浓度范围一般为 0% vol~25% vol,精度 0.1% vol;监测 CH₄ 浓度范围一般为 0% lel~100% lel,精度 1% lel;监测 H₂S 浓度范围一般为 0~100×10⁻⁶,精度 1×10⁻⁶。

6.17.4 视频监视设备

在主控室的监视器上,观察 5.14.12 规定区域的图像,图像是否稳定、清晰。

6.17.5 阀门紧急关闭

紧邻泥水仓的进、排浆阀,应有自动和手动两种控制方式,阀体动作灵活。按主控室面板上开关按钮,观察阀门开闭情况是否与主控室面板上显示阀门开闭状态一致。

6.17.6 紧急停止

分别按下盾体内、主控室操作台、控制柜和拖车上整机急停按钮,检查相应装置是否停止运转。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验、工地检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 制造商检验由制造商质量检验部门进行,检验合格后出具出厂检验合格证。

7.2.2 出厂检验项目,见表 1。

表 1 检验项目分类表

序号	类别	检验项目	技术要求	试验方法	出厂 检验	工地检验	
						工地组装 检验	试掘进 检验
1	整机参数	开挖直径	5.1.6	6.4.1	√		
2		刀盘最大转速	5.4.5	6.4.2	√	√	
3		设计最大推力	5.6.3	6.4.3	√		
4		设计最大推进速度	5.6.5	6.4.4	√	√	

表 1 (续)

序号	类别	检验项目	技术要求	试验方法	出厂 检验	工地检验	
						工地组装 检验	试掘进 检验
5	刀盘与刀具	耐磨	5.2.2	6.5.1	✓		
6		高差	5.2.3	6.5.2	✓		
7		管路耐压	5.2.5	6.5.3	✓	✓	
8		刀具安装半径	5.2.7	6.5.4	✓		
9		刀刃高度尺寸公差	5.2.8	6.5.5	✓		
10		滚刀挡圈侧朝向	5.2.9	6.2	✓		
11		磨损检测刀具数量	5.2.10	6.2	✓		
12	盾体	外径偏差	5.3.1	6.6.1	✓		
13		盾体圆柱度	5.3.1	6.6.2	✓		
14		油脂孔弧线长度	5.3.4	6.6.3	✓		
15		气垫仓供气双气路	5.3.6	6.2	✓		
16		气垫仓密封焊缝 压力测试	5.3.8	6.6.4		✓	✓
17		安全门开口大小	5.3.9	6.6.5	✓	✓	
18		泥水液位传感器	5.3.10	6.2	✓		✓
19		前盾通道接口	5.3.11	6.2	✓		
20	主驱动单元	主轴承设计寿命	5.4.1	6.7.1	✓		
21		慢速点动	5.4.6	6.7.2	✓	✓	
22		密封润滑	5.4.7	6.7.3	✓	✓	
23		连锁控制	5.4.8	6.7.4	✓		✓
24	人舱	压力测试	5.5.2	6.8	✓	✓	
25	推进系统	速度连续可调	5.6.5	6.9.1			✓
26		伸缩速度	5.6.6	6.9.2	✓	✓	
27	管片拼装机	回转速度	5.7.1	6.10.1	✓	✓	✓
28		安全系数	5.7.3	6.10.2	✓		
29		吸持状态	5.7.4	6.10.3	✓		
30		旋转角度	5.7.5	6.10.4	✓	✓	
31		纵向行程	5.7.6	6.10.5	✓		
32		制动性能	5.7.7	6.10.6	✓	✓	
33		抓取超载试验	5.7.8	6.10.7	✓		

表 1 (续)

序号	类别	检验项目	技术要求	试验方法	出厂 检验	工地检验	
						工地组装 检验	试掘进 检验
34	泥浆循环 系统	工作模式	5.8.1	6.11.1	√		√
35		工作压力精度	5.8.2	6.11.2			√
36		破碎渣土粒径	5.8.3	6.11.3	√		
37		高压冲刷口	5.8.4	6.11.4	√		
38		进、排浆压力、 密度及流量装置	5.8.5	6.11.5	√		√
39		泥浆泵调速	5.8.6	6.11.6	√		√
40		泥浆管延伸行程	5.8.7	6.11.7	√		√
41		泥浆系统紧急停止	5.8.10	6.11.8	√		√
42	液压系统	油温报警	5.9.4	6.12.1	√	√	
43		污染度	5.9.5	6.12.2			√
44		测压点设置	5.9.6	6.2	√		
45		滤芯堵塞报警	5.9.7	6.12.3	√		
46	电气系统	漏电保护	5.10.2	6.13.1	√	√	
47		绝缘	5.10.7	6.13.2	√	√	
48		应急照明	5.10.10	6.13.3	√	√	
49		照明检测	5.10.11	6.13.4	√		√
50	数据采集系统	数据记录、查询及报表生成	5.11.1	6.14.1	√		√
51		远程数据传输接口	5.11.2	6.14.2			√
52		不间断电源持续供电时间	5.11.3	6.14.3	√		
53	导向系统	设计轴线管理	5.12.1	6.15.1			√
54		导向系统测量精度	5.12.2	6.15.2	√		√
55	辅助系统	最小转弯半径检测	5.13.1	6.16.1	√		
56		刀盘驱动传动机构冷却 润滑系统	5.13.8	6.16.2			√
57		二次通风系统回风速度	5.13.12	6.16.3	√		
58	职业健康与 环境安全	噪声	5.14.2	6.17.1			√
59		电气设备警告标志	5.14.4	6.2	√	√	
60		声音报警音量值	5.14.6	6.17.2		√	√
61		气体监测系统	5.14.7	6.17.3	√	√	√
62		紧急疏散标识	5.14.9	6.2	√	√	
63		视频监视设备	5.14.12	6.17.4		√	√
64		阀门紧急关闭	5.14.14	6.17.5	√	√	
65		整机急停按钮	5.14.15	6.17.6			√

7.3 工地检验

- 7.3.1 工地检验包括工地组装检验和试掘进检验。
- 7.3.2 工地组装调试完毕后,由制造商和用户联合进行工地组装检验。
- 7.3.3 第一次掘进 200 m 后进行试掘进检验,检验合格后出具验收证书。
- 7.3.4 工地检验项目,见表 1。

7.4 型式检验

- 7.4.1 有下列情况之一时,应进行型式检验。
 - a) 制造商或用户有需求时;
 - b) 工艺和材料有较大改变,有可能影响产品性能时;
 - c) 出厂检验与上次型式试验有较大差异时;
 - d) 国家质量监督检验机构提出型式检验要求时。
- 7.4.2 如果属 7.4.1 中 a)、d) 两种情况,应按表 1 规定的全部项目检验;如果属 7.4.1 中 b)、c) 的情况,应进行专用功能检验。

7.5 判定规则

产品检验结果全部符合本标准所有技术要求者判为产品合格。

8 随行文件

8.1 随行文件应包括:

- 出厂检验合格证;
- 产品质量证明书;
- 产品使用说明书;
- 产品维护保养手册;
- 主要部件装配尺寸图;
- 电气系统、液压系统、辅助系统原理图;
- 外购主要部件随机资料;
- 随机配件清单;
- 易损易耗件清单;
- 随机工具清单。

8.2 产品维护保养手册应包括产品的适用范围、结构功能说明、维护保养,以及操作规程等内容。

9 标志、包装和运输

9.1 标志

9.1.1 设备出厂时,应在显著位置喷涂或粘贴产品标牌和有关标志,产品标牌和标志应符合 GB/T 13306 的规定,在标牌上至少应标出如下内容:

- 设备名称;
- 设备型号;
- 出厂编号;
- 出厂日期;
- 装机功率;

- 供电电压；
- 整机重量；
- 制造商名称；
- 制造商地址。

9.1.2 泥水平衡盾构机应有警告和安全标志、起吊标志、润滑指示标记、操作及工作位置指示标记。警示标志按照 GB/T 34650 的规定执行。

9.2 包装和运输

9.2.1 包装应符合 JB/T 5000.13 和 GB/T 13384 的相关规定,并适合陆路运输、水路运输或航空运输及装卸的要求。

9.2.2 包装运输图示标志应符合 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定,其主要内容包括:

- 收货站及收货单位名称;
- 发货站及发货单位名称;
- 产品名称和型号;
- 重量、箱号及外形尺寸;
- 起吊作业标志。

设备的运输应符合铁路、公路和航运的有关规定。

附 录 A
(资料性附录)

泥水平衡盾构机刀盘扭矩计算方法

A.1 理论计算法

A.1.1 刀盘驱动扭矩

刀盘驱动扭矩 T 按式(A.1)计算:

$$T = K \times (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 + T_8) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- K ——扭矩安全系数;
- T_1 ——刀具切削扭矩,单位为牛米(N·m);
- T_2 ——泥浆渣土摩擦产生的扭矩,单位为牛米(N·m);
- T_3 ——刀盘背面的摩擦力矩,单位为牛米(N·m);
- T_4 ——刀盘大圆环的摩擦力矩,单位为牛米(N·m);
- T_5 ——仓内的搅拌力矩,单位为牛米(N·m);
- T_6 ——主轴承旋转阻力矩,单位为牛米(N·m);
- T_7 ——刀盘受推力荷载产生的反力矩,单位为牛米(N·m);
- T_8 ——密封装置所产生的摩擦力矩,单位为牛米(N·m)。

A.1.2 刀具的切削扭矩

刀具的切削扭矩 T_1 计算按式(A.2)计算:

$$T_1 = 0.5 \times \left[q_\mu \times \frac{V_{\max}}{n} \times (D_d \times 0.5)^2 \right] \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- q_μ ——土层的抗压强度,单位为帕(Pa);
- $V_{\max}$ ——推进速度,单位为米每分(m/min);
- n ——刀盘转速,单位为转每分(r/min);
- D_d ——刀盘开挖直径,单位为米(m)。

A.1.3 刀盘前表面摩擦力矩估算

刀盘前表面摩擦力矩 T_2 按式(A.3)计算

$$T_2 = \frac{2\pi}{3} \times (1 - \alpha) \times \mu_p \times R^3 \times p_d \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

- α ——刀盘开口率;
- μ_p ——土层和刀盘之间的摩擦系数;
- R ——刀盘开挖半径,单位为米(m);
- p_d ——刀盘中心水平水土压,单位为帕(Pa)。

A.1.4 刀盘后表面的摩擦力矩估算

刀盘背面的摩擦阻力矩 T_3 约等于刀盘前面的摩擦阻力矩 β (取 10%~50%),按式(A.4)计算:

$$T_3 = \beta \times T_2 \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

β ——刀盘背面摩擦系数。

A.1.5 刀盘外圆环的摩擦力矩估算

刀盘外圆环的摩擦力矩 T_4 由式(A.5)计算:

$$T_4 = R \times \pi \times D_d \times B \times p_z \times \mu_p \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

B ——刀盘边缘宽度,单位为米(m);

p_z ——刀盘圆周水土压(按埋深取值),单位为帕(Pa)。

A.1.6 仓内的搅拌力矩

仓内搅拌力矩 T_5 由搅拌棒及刀盘扭腿搅动泥水仓内泥浆渣土产生的扭矩和摩擦产生的力矩组成,按式(A.6)计算:

$$T_5 = \sum R_x \times p_h \times l_x \times h_x + \sum R_x \times \mu_p \times p_h \times l_x \times b_x + \sum R_c \times \mu_p \times p_h \times l_c \times b_c + \sum R_c \times p_h \times l_c \times h_c \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

R_x ——搅拌棒的安装半径,单位为米(m);

p_h ——水平土压,单位为帕(Pa);

l_x ——搅拌棒的长度,单位为米(m);

h_x ——搅拌棒高度,单位为米(m);

b_x ——搅拌棒的宽度,单位为米(m);

R_c ——刀盘扭腿的安装半径,单位为米(m);

l_c ——刀盘扭腿长度,单位为米(m);

b_c ——刀盘扭腿宽度,单位为米(m);

h_c ——刀盘扭腿高度,单位为米(m)。

A.1.7 刀盘自重产生的主轴承旋转反力矩

刀盘自重产生的主轴承旋转反力矩 T_6 按式(A.7)计算:

$$T_6 = G \times R_1 \times \mu_g \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

G ——刀盘自重,单位为牛(N);

R_1 ——主轴承滚动半径,单位为米(m);

μ_g ——滚动摩擦系数,可取 $\mu_g = 0.004$ 。

A.1.8 刀盘推力荷载产生的主轴承旋转阻力矩

刀盘推力荷载产生的主轴承旋转阻力矩 T_7 按式(A.8)计算:

$$T_7 = F_t \times R_1 \times \mu_g \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

F_t ——推力荷载,单位为牛(N)。

$$F_t = \alpha \times \pi \times R^2 \times p_d \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

A.1.9 密封装置摩擦力矩

密封装置摩擦力矩 T_8 按式(A.10)计算:

$$T_8 = \sum 2\pi \times \mu_m \times F_m \times n_i \times R_i^2 \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中：
 μ_m ——密封与钢之间的摩擦系数，取 0.2；
 F_m ——密封的推力，取 1.5 kPa；
 n_i ——密封数；
 R_i ——密封的安装半径，单位为米(m)。

A.2 刀盘扭矩经验算法

刀盘驱动扭矩 T 由经验法按式(A.11)计算：
$$T = k \times D_d^3 \times 10^3 \dots\dots\dots (A.11)$$

式中：
 T ——刀盘驱动扭矩，单位为牛米(N·m)；
 k ——扭矩系数。

附 录 B (资料性附录)

泥水平衡盾构机盾体推力计算方法

B.1 理论计算法

B.1.1 盾体推力

盾体推力 F 根据式(B.1)计算:

$$F = k_1 \times (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

k_1 ——安全系数;

F_1 ——盾体的摩擦力,单位为千牛(kN);

F_2 ——尾刷与管片间的摩擦力,单位为千牛(kN);

F_3 ——开挖面的支撑压力,单位为千牛(kN);

F_4 ——后配套拖车的拖拉力,单位为千牛(kN);

F_5 ——刀具上的推力,单位为千牛(kN)。

B.1.2 盾体的摩擦力

盾体与地层间的摩擦阻力 F_1 由式(B.2)计算:

$$F_1 = 0.25 \times \pi \times D \times L \times (2p_e + 2K_0 \times p_e + K_0 \times \gamma \times D) \times \mu_1 + W \times \mu_1 \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

D ——盾构机外径,单位为米(m);

L ——主机长度,单位为米(m);

p_e ——作用在盾构机上顶部的竖直土压强度,单位为千帕(kPa);

K_0 ——掘削断面上土体的静止土压系数;

γ ——掘削断面上的土体浮重度,单位为千牛每立方米(kN/m³);

μ_1 ——地层与盾构机外壳间摩擦系数;

W ——盾构机主机重量,单位为千牛(kN)。

B.1.3 尾刷与管片间的摩擦力

盾尾与管片间的摩擦力 F_2 由式(B.3)计算:

$$F_2 = n_1 \times W_s \times \mu_2 + \pi \times D_0 \times b \times p_2 \times n_2 \times \mu_3 \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

n_1 ——盾尾内管片的环数;

W_s ——1环管片的重量,单位为千牛(kN);

μ_2 ——管片与盾尾间的摩擦系数;

D_0 ——管片外径,单位为米(m);

b ——盾尾密封刷与管片的接触长度,单位为米(m);

p_2 ——盾尾密封刷内油脂油压,单位为千帕(kPa);

n_2 ——盾尾密封刷的层数;

μ_3 ——管片与盾尾密封刷的摩擦系数。

B.1.4 开挖面的支撑压力

开挖面的支撑压力 F_3 按式(B.4)计算:

$$F_3 = \pi \times D^3 \times p_s / 4 \dots\dots\dots (B.4)$$

式中:

p_s ——设计掘进土压,单位为千帕(kPa)。

B.1.5 后配套拖车的拖拉力

后配套的拖拉力 F_4 由式(B.5)计算:

$$F_4 = W_4 \times \mu_4 \dots\dots\dots (B.5)$$

式中:

W_4 ——后备套的自重,单位为千牛(kN);

μ_4 ——后备套拖车与轨道的摩擦系数。

B.1.6 刀具上的推力

刀具上的推力 F_5 由式(B.6)计算:

$$F_s = \sum n_s \times F_c \dots\dots\dots (B.6)$$

式中:

n_s ——刀具个数;

F_c ——单把刀具最大承载力,单位为千牛(kN)。

B.2 经验计算法

盾体推力 F 由经验法按式(B.7)计算:

$$F = \pi / 4 \times D_d^2 \times p \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

F ——盾体推力,单位为千牛(kN);

D_d ——刀盘开挖直径,单位为米(m);

p ——单位掘削面上的经验推力,单位为千牛每平方米(kN/m²),泥水平衡盾构机 p 一般为 1 000 kN/m²~1 400 kN/m²。

附 录 C (资料性附录)

泥水平衡盾构机泥浆循环系统计算方法

C.1 开挖渣土量

开挖渣土量 Q 由式(C.1)计算:

$$Q = A \cdot k_1 \cdot V_s \cdot 60/1\,000 \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

Q ——开挖渣土量,单位为立方米每小时(m^3/h);

A ——隧洞开挖截面积,单位为平方米(m^2);

k_1 ——土体含泥率,以体积分数(%)表示;

V_s ——设计推进速度,单位为毫米每分(mm/min)。

C.2 进浆浓度

进浆浓度 C_1 由式(C.2)计算:

$$C_1 = \frac{\gamma_1 - 1}{\gamma/1\,000 - 1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

C_1 ——进浆浓度,以体积分数(%)表示;

γ_1 ——土体流变参数,由过滤试验、流变试验及其他因素决定的量;

γ ——开挖面上的土体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

C.3 排浆流速

流入管路内泥水的流动式样因粒径、比重、流速而异。若粒径、比重变大,则在水平管内,由重力不同而产生管内上下部浓度差,形成不均质流动。若流速小,则会产生粒子沉淀。若高速运动,则粒子会因跃动而成为混流,接近均质流动。

由杜朗德临界沉淀流速公式见式(C.3),计算排浆管流速 V_2 。

$$V_L = F_L \sqrt{2 \cdot g \cdot D_2 \cdot (\gamma/1\,000 - 1)} \quad \dots\dots\dots (C.3)$$

式中:

V_L ——临界沉淀流速,单位为米每秒(m/s);

F_L ——粒子浓度和粒径的常数;

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2),取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$;

D_2 ——排浆管通径,单位为米(m),由输送流量和最大渣土粒径确定;

γ ——开挖面上的土体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

排浆管路流速 V_2 ,按 $1.2V_L \sim 1.25V_L$ 选取,有: $V_2 = 1.2V_L \sim 1.25V_L$ 。

C.4 排浆流量

排浆流量 Q_2 由式(C.4)计算:

$$Q_2 = 900 \cdot \pi \cdot D_2^2 \cdot V_2 \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：
 Q_2 ——排浆流量，单位为立方米每小时（m³/h）；
 D_2 ——排浆管通径，单位为米（m），由输送流量和最大渣土粒径确定；
 V_2 ——排浆流速，单位为米每秒（m/s）。

C.5 进浆流量

进浆流量 Q_1 由式(C.5)计算：

$$Q_1 = Q_2 - Q \dots\dots\dots (C.5)$$

式中：
 Q_1 ——进浆流量，单位为立方米每小时（m³/h）。

C.6 排浆浓度

排浆浓度 C_2 由式(C.6)计算：

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot Q_1 + Q \cdot 100}{Q_2} \dots\dots\dots (C.6)$$

式中：
 C_2 ——排浆浓度，以体积分数（%）表示；
 C_1 ——进浆浓度，以体积分数（%）表示。
排浆浓度的适用范围在 1.30~1.40 左右。
泥浆浓度超过 1.40，输送很困难。为了降低浓度，需增大管径，加大流量，需从 C.3 再次计算。

C.7 进浆密度

进浆密度 γ_1 由式(C.7)计算：

$$\gamma_1 = 1 + C_1 \cdot (\gamma/1\,000 - 1)/100 \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：
 γ_1 ——进浆密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
 C_1 ——进浆浓度，以体积分数（%）表示。

C.8 排浆密度

排浆密度 γ_2 由式(C.8)计算：

$$\gamma_2 = 1 + C_2 \cdot (\gamma/1\,000 - 1)/100 \dots\dots\dots (C.8)$$

式中：
 γ_2 ——排浆密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
 C_2 ——排浆浓度，以体积分数（%）表示。

C.9 进浆流速

进浆泵为满足对开挖面加压所需的流量，常采用加大管径、减小流速以减少压力损失。为制造采购方便，一般与排浆管通径相同。

进浆流速 V_1 由式 (C.9) 计算:

$$V_1 = \frac{Q_1}{15 \cdot \pi \cdot D_1^2} \dots\dots\dots (C.9)$$

式中:

V_1 ——开挖时的进浆流速,单位为米每秒(m/s);

D_1 ——进浆管通径,单位为米(m),由开挖仓开挖量确定。

C.10 泥水平衡盾构机的泥浆循环系统基本参数

由以上计算可得进浆流量 Q_1 、排浆流量 Q_2 、进浆密度 γ_1 、排浆密度 γ_2 、进、排浆管通径 D_1 和 D_2 。

附 录 D
(资料性附录)
检查记录表

刀盘最外侧刀具相对盾体高差记录表见表 D.1。

表 D.1 刀盘最外侧刀具相对盾体高差记录表

泥水平衡盾构机型号_____编 号_____检验地点_____
测 量 日 期_____检验人员_____其 他_____

区域序号	x 值	y 值	$[y-x]$ 值
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
检测结果判定			

盾体外径偏差和圆柱度记录表见表 D.2。

表 D.2 盾体外径偏差和圆柱度记录表

泥水平衡盾构机型号_____编 号_____检验地点_____
测 量 日 期_____检验人员_____其 他_____

盾体 名称	圆周 位置	实测值											
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°
前盾	a												
	b												
	c												
	d												
中盾	a												
	b												
	c												
	d												
尾盾	a												
	b												
	c												
	d												
检测结果判定													