



中华人民共和国国家标准

GB/T 41053—2021

全断面隧道掘进机 土压平衡-泥水平衡双模式掘进机

Full face tunnel boring machine—Dual modes (earth pressure
balanced and slurry balanced) tunnel boring machine

2021-12-31 发布

2022-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 型号和基本参数 3

 4.1 产品型号 3

 4.2 基本参数 3

 4.3 结构示例图 4

5 技术要求 5

 5.1 一般要求 5

 5.2 刀盘及刀具 5

 5.3 盾体 6

 5.4 主驱动单元 6

 5.5 人舱 6

 5.6 推进系统 7

 5.7 管片拼装机 7

 5.8 螺旋输送机 7

 5.9 带式输送机 7

 5.10 泥浆循环系统 8

 5.11 液压系统 8

 5.12 电气系统 8

 5.13 导向系统 10

 5.14 辅助系统 10

 5.15 模式转换系统 11

 5.16 环境与安全 11

6 试验方法 12

 6.1 试验条件 12

 6.2 目测检查 12

 6.3 检测数据采集 12

 6.4 整机参数 12

 6.5 刀盘及刀具 13

 6.6 盾体 15

 6.7 主驱动单元 16

6.8	人舱	17
6.9	推进系统	17
6.10	管片拼装机	17
6.11	螺旋输送机	18
6.12	泥浆循环系统	18
6.13	液压系统	18
6.14	电气系统	19
6.15	导向系统	19
6.16	辅助系统	20
6.17	模式转换系统	20
6.18	职业健康与环境安全	20
7	检验规则	21
7.1	检验分类	21
7.2	出厂检验	23
7.3	工地检验	23
7.4	型式检验	23
7.5	判定规则	24
8	随行文件	24
9	标志、包装和运输	24
9.1	标志	24
9.2	包装和运输	24
附录 A (资料性)	土压平衡-泥水平衡模式转换步骤	26
附录 B (资料性)	刀盘装备扭矩计算方法	28
附录 C (资料性)	装备推力计算方法	31
附录 D (资料性)	泥浆循环系统计算方法	33

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件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。

本文件起草单位：中国铁建重工集团股份有限公司、中铁十六局集团有限公司、中铁十八局集团有限公司、中铁十二局集团有限公司、中铁十一局集团城市轨道交通工程有限公司、中国水利水电第八工程局有限公司、中国水利水电第三工程局有限公司、天津大学、山东大学、大连理工大学、广州轨道交通建设监理有限公司、沈阳建筑大学、北方重工集团有限公司、北京建筑机械化研究院有限公司、中铁工程装备集团有限公司、中交天和机械设备制造有限公司、力信测量(上海)有限公司、国家建筑城建机械质量监督检验中心。

本文件主要起草人：刘飞香、程永亮、马栋、代敬辉、李六平、万维燕、刘宏、李东锋、张茜、刘斌、霍军周、竺维彬、周鹏、王奥、刘双、贾连辉、梅万永、张晓日、曾舜安、麻成标、李术才、张帅坤、王武现、王庆柱、毋海军、乔晓亮、柯珊、李兆宇、曲传咏、黄威然、何恩光、张旺、马肖丽、袁文征、王灿刚、杨金永、唐仕林、周紫晗。

全断面隧道掘进机

土压平衡-泥水平衡双模式掘进机

1 范围

本文件规定了土压平衡-泥水平衡双模式掘进机的术语和定义、型号和基本参数、技术要求、试验方法、检验规则、随行文件、标志、包装和运输。

本文件适用于土压平衡-泥水平衡双模式掘进机(以下简称掘进机)的设计、制造和检验。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 1985—2014 高压交流隔离开关和接地开关
- GB 2894 安全标志及其使用导则
- GB/T 3766 液压传动 系统及其元件的通用规则和安全要求
- GB/T 3956 电缆的导体
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 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:电压高压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 10595 带式输送机
- GB/T 13283 工业过程测量和控制用检测仪表和显示仪表精确度等级
- 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 14048.3 低压开关设备和控制设备 第3部分:开关、隔离器、隔离开关及熔断器组合电器
- GB/T 14776 人类工效学 工作岗位尺寸 设计原则及其数值
- GB/T 17301 土方机械 操作和维修空间 棱角倒钝
- GB/T 19666 阻燃和耐火电线电缆或光缆通则
- 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 20840.2 互感器 第2部分:电流互感器的补充技术要求
- GB/T 20840.3 互感器 第3部分:电磁式电压互感器的补充技术要求
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 26802.1 工业控制计算机系统 通用规范 第1部分:通用要求

GB/T 34354 全断面隧道掘进机 术语和商业规格
GB/T 34650 全断面隧道掘进机 盾构机安全要求
GB/T 34651 全断面隧道掘进机 土压平衡盾构机
GB/T 35019 全断面隧道掘进机 泥水平衡盾构机
GB/T 37400.3 重型机械通用技术条件 第3部分:焊接件
GB/T 37400.10 重型机械通用技术条件 第10部分:装配
GB/T 37400.11—2019 重型机械通用技术条件 第11部分:配管
GB 50168—2018 电气装置安装工程 电缆线路施工及验收标准
GB 50169—2016 电气装置安装工程 接地装置施工及验收规范
JB/T 10205 液压缸

3 术语和定义

GB/T 34354、GB/T 34651、GB/T 35019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

土压平衡-泥水平衡双模式掘进机 **dual modes(earth pressure balanced and slurry balanced) tunnel boring machine**

可实现土压平衡模式或泥水平衡模式掘进施工,并可实现在隧道内两种模式相互转换的全断面隧道掘进机。

3.2

土压平衡模式 **earth pressure balanced mode**

以渣土为主要介质平衡隧道开挖面地层压力,通过螺旋输送机出渣的掘进方式。

3.3

泥水平衡模式 **slurry balanced mode**

以泥浆为主要介质平衡隧道开挖面地层压力,通过泥浆循环系统出渣的掘进方式。

3.4

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。

[来源:GB/T 34651—2017,3.3]

3.5

标称直径 **nominal diameter**

前盾外径。

[来源:GB/T 34651—2017,3.2]

3.6

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。

[来源:GB/T 34651—2017,3.5]

3.7

脱困扭矩 **breaking out torque**

刀盘在最大工作扭矩工况下无法转动时,主驱动单元所能够短时输出的最大扭矩。

[来源:GB/T 34651—2017,3.6]

3.8

泥浆循环系统 slurry circulating system

泥水平衡盾构机中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。

[来源:GB/T 34354—2017,2.81]

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。

[来源:GB/T 34354—2017,2.35]

3.10

气垫仓 air bubble

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。

[来源:GB/T 34354—2017,2.36]

3.11

泥浆管延伸装置 slurry pipeline extension device

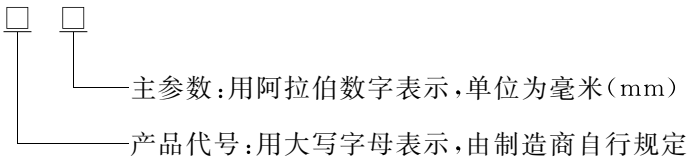
泥水平衡盾构机中用于进浆管和排浆管延伸连接的装置。

[来源:GB/T 34354—2017,2.82]

4 型号和基本参数

4.1 产品型号

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:



4.2 基本参数

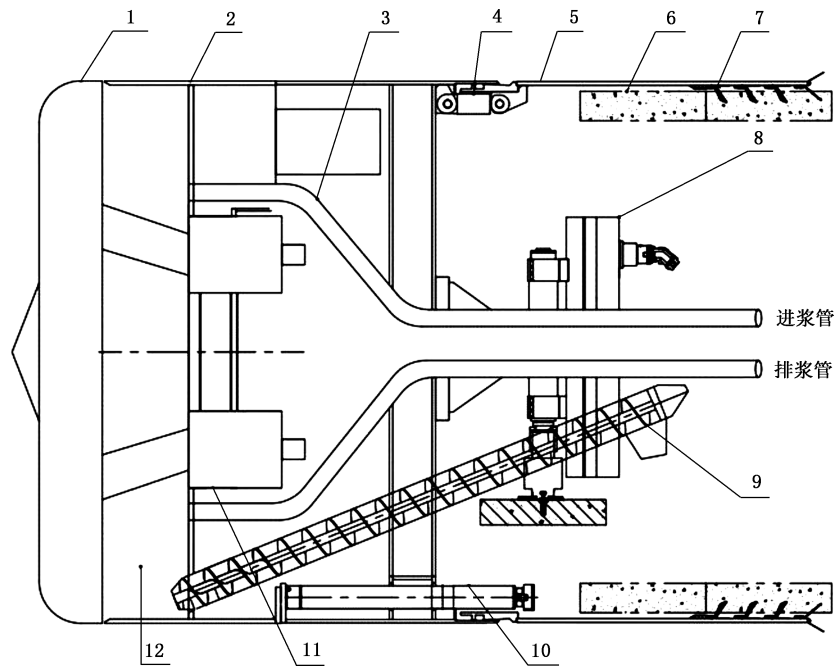
掘进机基本参数如下:

- 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);
- 最大推力,单位为千牛(kN);
- 螺旋输送机设计最大输送能力,单位为立方米每时(m³/h);
- 适应管片尺寸(外径/内径-宽度),单位为毫米(mm)
- 适应最大水土压力,单位为兆帕(MPa);
- 最大进浆流量,单位为立方米每时(m³/h);
- 进浆密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- 最大排浆流量,单位为立方米每时(m³/h);
- 排浆密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
- 进浆管通径,单位为毫米(mm);

- 排浆管口径,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);
- 总长度,单位为米(m);
- 总质量,单位为千克(kg);
- 主机长度,单位为米(m);
- 主机质量,单位为千克(kg);
- 最小水平转弯半径,单位为米(m);
- 最大坡度,%;
- 最大不可分割件质量,单位为千克(kg);
- 最大不可分割件尺寸(长×宽×高),单位为毫米(mm);
- 最大工作压力,单位为兆帕(MPa);
- 装机功率,单位为千瓦(kW)。

4.3 结构示例图

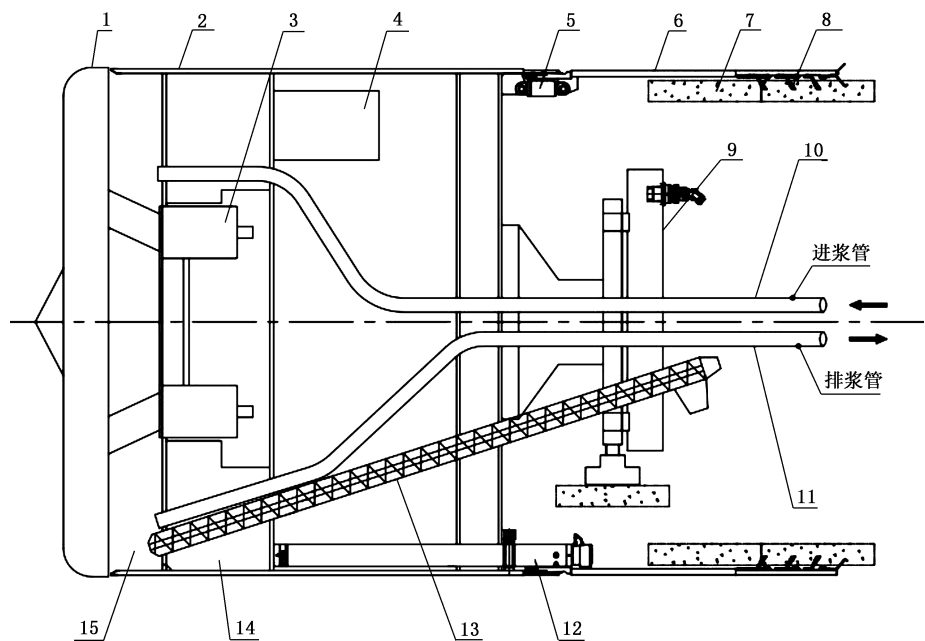
土压平衡-泥水平衡双模式掘进机结构示例图见图 1 和图 2。



标引序号说明:

- | | |
|-----------|------------|
| 1——刀盘; | 7——尾盾密封; |
| 2——盾体; | 8——管片拼装机; |
| 3——进浆管; | 9——螺旋输送机; |
| 4——铰接液压缸; | 10——推进液压缸; |
| 5——尾盾; | 11——主驱动单元; |
| 6——管片; | 12——泥水仓。 |

图 1 直接控制土压平衡-泥水平衡双模式掘进机结构示例图



- 标引序号说明：
- | | | | |
|-----------|-----------|------------|------------|
| 1——刀盘； | 5——铰接液压缸； | 9——管片拼装机； | 13——螺旋输送机； |
| 2——前盾； | 6——尾盾； | 10——进浆管； | 14——气垫仓； |
| 3——主驱动单元； | 7——管片； | 11——排浆管； | 15——开挖仓。 |
| 4——人舱； | 8——尾盾密封； | 12——推进液压缸； | |

图 2 间接控制土压平衡-泥水平衡双模式掘进机结构示例图

5 技术要求

5.1 一般要求

- 5.1.1 开挖直径偏差范围应为 0 mm~+4 mm。
- 5.1.2 焊接件应符合 GB/T 37400.3 的规定。
- 5.1.3 装配应符合 GB/T 37400.10 的规定。
- 5.1.4 管路装配应符合 GB/T 37400.11 的规定。
- 5.1.5 部件不能满足运输要求时应进行分块设计。
- 5.1.6 应具有隧道内完成掘进模式转换的功能，出厂前应进行模式转换试验，土压平衡-泥水平衡模式转换步骤见附录 A。
- 5.1.7 掘进机在环境温度 5℃~50℃，相对湿度小于 90% 的环境条件下应能正常使用。
- 5.1.8 掘进机设计应为智能化制造、再制造提供条件。

5.2 刀盘及刀具

- 5.2.1 刀盘的强度和刚度应符合设计要求。
- 5.2.2 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 mm~+2 mm。
- 5.2.3 正面刀的刀刃高度偏差不应大于 2 mm。
- 5.2.4 刀盘本体工作平面的平面度应符合 GB/T 37400.3 中精度等级 E 级的规定。
- 5.2.5 刀盘背面应配置表面耐磨处理的搅拌棒。

- 5.2.6 刀盘宜配置超挖刀或仿形刀。
- 5.2.7 刀盘表面、排渣口和周边易磨损部位应采取耐磨措施。
- 5.2.8 刀盘最外侧刀具相对盾体的高差应满足设计要求。
- 5.2.9 滚刀的挡圈侧宜朝向刀盘中心位置。
- 5.2.10 宜配置刀盘、刀具磨损检测装置。
- 5.2.11 刀盘内部管路耐压性能应符合 GB/T 37400.11—2019 中 3.6 的规定。

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 时尾盾刷不应小于 3 道,大于 0.4 MPa 时尾盾刷不宜小于 4 道。
- 5.3.4 尾盾同一个油脂腔两个相邻的油脂孔的弧线长度不宜大于 3.5 m。
- 5.3.5 盾体和土仓隔板宜设置超前注浆孔。
- 5.3.6 盾体应设置径向膨润土注入孔。
- 5.3.7 开挖直径大于 4 500 mm 时,应配置前闸门。
- 5.3.8 土仓隔板应预留风、水、电通道和渣土改良注入孔。
- 5.3.9 土压传感器宜满足带压更换需要。
- 5.3.10 气垫仓应配置正常供气和紧急供气双气路。
- 5.3.11 前盾内构成气垫仓的所有焊缝均应密封焊。
- 5.3.12 气垫仓内应配置两套泥水液位传感器。

5.4 主驱动单元

- 5.4.1 主轴承设计寿命不应小于 10 000 h。
- 5.4.2 扭矩系数不应小于 18,刀盘扭矩计算方法见附录 B。
- 5.4.3 脱困扭矩不应小于最大工作扭矩的 1.2 倍。
- 5.4.4 应能够双向旋转,具有无级调速功能,最大转速满足设计要求。
- 5.4.5 应具有慢速点动功能,点动转速不应大于 0.2 r/min。
- 5.4.6 应配置驻车制动器,驻车制动器与刀盘动作控制应具有联锁功能。
- 5.4.7 齿轮油润滑系统应设置磁性过滤器及冷却装置。
- 5.4.8 油脂密封润滑系统应具有压力和流量检测报警功能。
- 5.4.9 主驱动单元与推进系统应具有联锁控制功能。
- 5.4.10 应具有扭矩限制功能。

5.5 人舱

- 5.5.1 应由具备专业资质的厂家设计制造,并满足 GB/T 150(所有部分)的要求。
- 5.5.2 应进行气密性试验,保压 30 min,压力下降值不应大于工作压力的 6%。
- 5.5.3 宜位于盾体中/上部,与泥水仓/土仓连接的舱门应朝人舱方向开启。
- 5.5.4 应配置安全阀,安全阀设定压力为最大工作压力的 1.1 倍。
- 5.5.5 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。
- 5.5.6 舱内和舱外应设置独立的加、减压控制系统。
- 5.5.7 舱内和舱外应设置机械式应急排气阀,设置永久性红色警示标记。

- 5.5.8 舱外及各舱室应配备不少于两套通信系统,其中一套在供电系统断电时仍能正常通信。
- 5.5.9 人舱或与人舱相连通的盾体密封舱室内应设置刀盘动作现地控制装置,并与主控室控制具有联锁功能。
- 5.5.10 舱内应设置水、气接口,不应设置电气插拔装置。

5.6 推进系统

- 5.6.1 推进系统应具有防后退功能。
- 5.6.2 单位开挖面积(m^2)的最大推力不应小于 1 000 kN。
- 5.6.3 最大推进速度应满足设计要求。
- 5.6.4 最大推力应满足设计要求,推力计算方法见附录 C。
- 5.6.5 推进液压缸应符合 JB/T 10205 的规定。
- 5.6.6 推进液压缸的行程应满足管片拼装的需要,行程偏差不应大于 $\pm 2 \text{ mm}$ 。
- 5.6.7 推进液压缸的撑靴比压不应大于管片的设计强度。
- 5.6.8 推进模式下的推进液压缸伸出速度应连续可调。
- 5.6.9 管片拼装模式下的推进液压缸伸缩速度应满足管片拼装的设计要求。

5.7 管片拼装机

- 5.7.1 应具有管片的抓持、提升、平移、回转及定位功能。
- 5.7.2 应配置制动装置,且能可靠制动。
- 5.7.3 沿周向顺时针、逆时针旋转角度不应小于 200° 。
- 5.7.4 纵向行程宜满足在隧道内更换两道尾盾刷的需要。
- 5.7.5 在断电情况下,真空吸盘式管片拼装机应保证吸持管片时间不小于 20 min,且真空度不低于 80%。
- 5.7.6 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。
- 5.7.7 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,动载试验载荷为最大管片重量的 1.1 倍。
- 5.7.8 应具备有线、无线两种控制方式,两种控制方式间应能互锁,无线遥控有效控制范围应覆盖工作区域。
- 5.7.9 管片拼装平台应便于管片拼装作业。

5.8 螺旋输送机

- 5.8.1 设计最大出渣量应满足最大推进速度时的出渣需要。
- 5.8.2 应具有双向旋转和无级调速功能,最大转速应满足设计要求。
- 5.8.3 伸缩与前闸门开关应具有联锁控制功能。
- 5.8.4 伸缩量应满足前闸门关闭要求。
- 5.8.5 后闸门应具有开度调节及断电自动关闭功能,断电自动关闭时间不大于 20 s。
- 5.8.6 应设置渣土改良孔和检修窗口。

5.9 带式输送机

- 5.9.1 应符合 GB/T 10595 的规定。

5.9.2 输送能力不应小于螺旋输送机出渣能力。

5.9.3 宜采用变频驱动或液压驱动。

5.9.4 斜坡段倾角不宜大于 12° 。

5.9.5 应设置刮渣及清洗装置。

5.9.6 主机带式输送机应设置急停开关及联锁装置,且能现地和主控室控制,并能互锁。

5.10 泥浆循环系统

5.10.1 系统应具有实现掘进、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应满足设计要求。

5.10.2 气垫仓工作压力控制波动范围不应大于设计压力的 3%。

5.10.3 在刀盘中心和排渣口区域宜设置高压冲刷口。

5.10.4 应设置进、排浆密度、压力和流量检测装置。

5.10.5 泥浆泵的驱动电机转速应连续可调。

5.10.6 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。

5.10.7 泥浆泵进、出口应配置软连接及压力传感器。

5.10.8 主机区域排浆管路弯管内壁应有耐磨措施,并应减少弯管布置。

5.10.9 主控室内应设置泥水循环系统急停按钮。

5.10.10 泥浆循环系统计算方法见附录 D。

5.11 液压系统

5.11.1 液压系统应符合 GB/T 3766 的规定。

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

5.11.3 液压油箱应设置液位及高温报警装置。

5.11.4 各子系统应设置测压点。

5.11.5 应设置滤芯堵塞报警装置。

5.11.6 应设置液压油冷却装置,冷却能力应能满足降温需要。

5.11.7 掘进机出厂前应进行液压系统空载试验。

5.12 电气系统

5.12.1 通用要求

5.12.1.1 动力电缆及控制电缆应符合 GB/T 3956 中第 5 种及以上导体的规定。

5.12.1.2 电线、电缆应符合 GB/T 19666 的规定。

5.12.1.3 电缆敷设应符合 GB 50168—2018 中 5.1~5.3、6.1、6.2 的规定。

5.12.1.4 高、低压箱柜内电器设备、1kV 及以下配电装置及二次回路的绝缘电阻值不应小于 $2M\Omega$ 。

5.12.1.5 高压开关柜正面应留有安全操作空间,应有带电显示装置和防误操作联锁装置,能实现如下功能要求:

- a) 防止带负荷分、合隔离开关;
- b) 防止误分、误合断路器、负荷开关、接触器;
- c) 防止接地开关处于闭合位置时关合断路器、负荷开关;
- d) 防止在带电时,误合接地开关或挂接地线;
- e) 防止误入带电间隔。

5.12.1.6 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 GB/T 4208规定的 IP55。

5.12.2 供配电系统

5.12.2.1 开关装置应符合 GB/T 1985—2014 中 11.1、11.2、11.4~11.7 和 GB/T 14048.3 的相关规定。

5.12.2.2 干式电力变压器应设置三相绕组温度检测保护装置,油浸式电力变压器应设置油温保护装置。

5.12.2.3 变压器进线侧应设置避雷器。

5.12.2.4 变压器的进线侧开关应具有过载、短路保护功能。

5.12.2.5 变压器的进线侧开关应具有分/合闸、隔离和接地功能。

5.12.2.6 应在变压器的低压侧或高压侧配置电能计量表,电能表的精度不低于 GB/T 13283 规定的 0.5 级,电压互感器的精度不低于 GB/T 20840.3 规定的 0.2 级、电流互感器的精度不低于 GB/T 20840.2 规定的 0.2S 级。

5.12.2.7 TN 电网的低压配电系统应具有漏电保护、短路保护、过载保护、缺相保护和相序保护功能。漏电保护不少于两级,过载保护和短路保护不宜超过三级。

5.12.2.8 IT 电网的低压配电系统应具有短路保护、过载保护功能,应采用绝缘监测系统实现漏电保护功能。

5.12.2.9 低压配电系统平均功率因数不应低于 0.9。

5.12.2.10 低压配电系统的谐波应符合 GB/T 24337 的规定。

5.12.2.11 接地系统应符合 GB 50169—2016 中 4.1~4.4 的相关规定。

5.12.3 控制系统

5.12.3.1 控制系统的电源应与动力回路隔离。

5.12.3.2 工控机应符合 GB/T 26802.1 的规定。

5.12.3.3 人机界面语言应有中文显示。

5.12.3.4 功率超过 30 kW 以上的电动机,宜采用软启动、变频启动或其他降压启动方式。

5.12.3.5 操作箱应具有与主控室操作的联锁功能。

5.12.3.6 应具有设备启、停次序和工作模式转换联锁功能。

5.12.3.7 继电器、接触器、电磁阀的控制回路,应配置过电压吸收器或续流回路。

5.12.3.8 控制系统中操作、指示器件的布置应符合 GB/T 14776 的规定。

5.12.3.9 控制系统应具有故障诊断与显示警示功能。

5.12.4 数据采集系统

5.12.4.1 应至少能采集以下掘进机数据:刀盘转速、刀盘扭矩、推进速度、掘进推力、主机倾角、推进液压缸行程、开挖仓压力、螺旋输送机转速、螺旋输送机扭矩、进浆流量、排浆流量及施工环境气体含量。

5.12.4.2 应具有掘进数据采集、保存、查询、导出、打印功能。

5.12.4.3 应配置不间断电源,供电时间不应低于 1 h。

5.12.4.4 应预留远程数据传输接口。

5.12.5 通信系统

5.12.5.1 主机区、主控室、水管延伸区、后配套带式输送机卸渣口区域应配置防护等级不低于 IP55 的

电话机。

5.12.5.2 应预留主控室与洞外通信的接口。

5.12.6 视频监视系统

5.12.6.1 应至少在管片拼装区域、螺旋输送机出渣口、带式输送机卸渣口、尾部拖车位置、轨道铺设区域设置监视器。

5.12.6.2 应在主控室设置显示终端。

5.12.6.3 应预留与洞外传输的接口。

5.12.6.4 应具有屏幕显示切换功能。

5.12.7 急停开关

5.12.7.1 主控室、变压器处、后配套人员通道区域应配置急停开关。

5.12.7.2 现地控制装置应配置急停开关。

5.12.7.3 急停开关复位时不应直接启动机构。

5.12.8 照明系统

5.12.8.1 应设置独立的隔离变压器。

5.12.8.2 应选用密闭、防水的照明灯具。

5.12.8.3 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。

5.12.8.4 人员通道和工作区域应配置应急照明设备，应急照明设备在外部断电后的照明时间不应少于 1 h，照度不低于 15 lx。

5.13 导向系统

5.13.1 宜采用激光靶式或棱镜式导向系统，角度测量精度不应低于 2"。

5.13.2 应具有设计轴线管理功能。

5.13.3 应具有空间位置检测功能，包括相对设计轴线的水平和高程偏差，实际掘进坐标超出隧道轴线设计偏差时，导向系统应具有报警功能。

5.13.4 应具有姿态检测功能，包括掘进机相对设计轴线的方位角、滚动角和俯仰角。

5.13.5 应配置工控机，并具有图形显示功能，包括掘进机空间位置和姿态的实时数据。

5.13.6 应具有测量基点检核功能。

5.13.7 应具有与掘进机的控制系统通信的功能。

5.13.8 应具有数据历史查询、导出和报表功能。

5.13.9 直线段有效测量距离不应小于 200 m。

5.14 辅助系统

5.14.1 铰接系统

5.14.1.1 铰接系统应满足隧道最小转弯半径要求。

5.14.1.2 主动铰接最大推力不应小于推进系统最大推力的 70%。

5.14.2 通风系统

5.14.2.1 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。

5.14.2.2 储风筒风管储存长度不应小于 100 m,并配备升降装置。

5.14.3 润滑及密封系统

5.14.3.1 主驱动密封系统应采取强制润滑。

5.14.3.2 主轴承润滑系统应采取强制润滑和冷却方式,并应设置温度、流量报警装置。

5.14.3.3 油脂注入系统应具备脉冲计数和空桶检测报警功能。

5.14.3.4 润滑系统宜采用逻辑控制,设置监控、联锁装置。

5.14.4 供排水系统

5.14.4.1 主驱动电机、变频器、减速机宜采取强制水冷方式,并应设置温度、流量报警装置。

5.14.4.2 应具有流量、压力、水位检测功能。

5.14.4.3 应配置进、排水水管卷筒或其他储管装置,储存能力不应小于 20 m。

5.14.4.4 内循环介质宜采用软水。

5.14.4.5 应满足掘进作业正常排水需要。

5.14.4.6 供水能力不应低于刀盘喷水、冷却用水、服务用水的压力和流量需要。

5.14.4.7 在后配套拖车上应预留用水接口。

5.14.5 压缩空气系统

5.14.5.1 气动系统应符合 GB/T 7932 的规定。

5.14.5.2 空气压缩机额定压力不应低于 0.8 MPa,排气量应不低于最大用气量的 1.5 倍。

5.14.5.3 应具有过滤、干燥功能。

5.14.5.4 应设置储气罐,储气罐应符合 GB/T 150(所有部分)的规定。

5.14.6 注浆系统

5.14.6.1 注浆系统能力应按不低于 150%的浆液注入率计算。

5.14.6.2 注浆系统应具有泵体和注浆管路清洗、压力和流量控制的功能,并有手动与自动两种控制模式。

5.15 模式转换系统

5.15.1 应能在隧道内实现土压平衡模式和泥水平衡模式相互转换,并具有防误操作功能。

5.15.2 应能实现在土压平衡模式下对泥浆循环系统阀组、进浆泵、排浆泵的功能锁定。

5.15.3 应能实现在泥水平衡模式下对螺旋输送机、带式输送机、泡沫系统的功能锁定。

5.15.4 应具有土压平衡模式和泥水平衡模式两种模式界面显示及操作功能,并能互锁。

5.15.5 掘进机控制系统应具有模式转换条件的判别功能,条件包括但不限于:

- 刀盘转速、推进速度、仓内压力;
- 螺旋输送机运转,螺旋输送机闸门开启、关闭;
- 带式输送机运转;
- 泥浆泵运转;
- 泥浆循环系统阀组开启、关闭。

5.16 环境与安全

5.16.1 掘进机安全要求应符合 GB/T 34650 的规定。

- 5.16.2 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)。
- 5.16.3 电气安全应符合 GB/T 5226.1、GB 5226.3 的规定。
- 5.16.4 高压电设备应配置防护隔离装置。
- 5.16.5 操作维护区域内的尖角和锐角应符合 GB/T 17301 的规定。
- 5.16.6 运动部件应有防护措施或醒目的标识,启动时应具有声光报警。
- 5.16.7 声音报警装置输出的最低声级值应比施工环境噪声至少高出 10 dB(A)。
- 5.16.8 螺旋输送机出渣口处应配置气体监测系统,至少能检测 O₂、CH₄、H₂S 气体的浓度。
- 5.16.9 人舱应配置气体监测装置,至少能检测 O₂、CH₄、CO 和 CO₂ 气体的浓度。
- 5.16.10 气体检测装置应具有超限值报警功能,报警点包括但不限于主控室、人舱、螺旋输送机出渣口。
- 5.16.11 后配套拖车的出入口处、主控室内应当设置醒目的应急信息指示牌,应包括疏散路线、救护设备和灭火设备存放位置。
- 5.16.12 盾体和后配套拖车应配置灭火器。
- 5.16.13 应配置通畅的人行安全通道并有导向标志,标志应符合 GB 2894 的规定。
- 5.16.14 通道内有分支、转弯、台阶、坡道及重要出入口处均应有紧急疏散标志。
- 5.16.15 应配置盾体滚转角度检测装置。
- 5.16.16 主控室、人舱、电控柜、盾体平台、注浆系统、现地操作箱位置应配置电话通信系统。
- 5.16.17 紧邻气垫仓的进、排浆阀应具有紧急关闭功能。
- 5.16.18 泥水管路不应与高压电缆同侧布置。
- 5.16.19 应配置应急发电机接口。

6 试验方法

6.1 试验条件

- 6.1.1 试验场地应满足承载设备质量的要求。
- 6.1.2 试验环境温度 5℃~35℃,相对湿度 40%~70%。
- 6.1.3 试验用仪器仪表在试验前应进行检定或校准,仪器仪表包括:全站仪、钢卷尺、钢直尺、秒表、油压表、气压表、绝缘电阻表、接地电阻仪、光学显微镜、便携式硬度计、照度仪、风速仪及声级计。

6.2 目测检查

- 6.2.1 目测检查设备的布置状态、动作状态、显示状态及技术文件。
- 6.2.2 检查不应拆解部件。

6.3 检测数据采集

试验检测时,单项数据采集不应少于 3 次,并与规定值进行比对。

6.4 整机参数

6.4.1 开挖直径

刀盘安装在主机上的条件下,选定并标识水平及垂直方向基点,旋转刀盘至不同位置,用全站仪或三维摄影测量系统测量最外端安装刀具刀刃的坐标,计算出开挖直径。

6.4.2 推进速度

在推进模式下,用钢卷尺测量液压缸行程,用秒表计时,计算推进液压缸最大伸出速度,并与主控室操作面板液压缸行程传感器数值及设计值比对。

6.4.3 最大推力

掘进机最大推力按公式(1)计算:

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

式中:
F ——掘进机最大推力,单位为牛顿(N);
D ——推进液压缸无杆腔缸内径,单位为毫米(mm);
p ——泵出口设计最大压力,单位为兆帕(MPa);
Z ——推进液压缸数量。

6.4.4 刀盘转速

调整刀盘从零至最大转速,在刀盘转速平稳后,用秒表记录旋转的时间,计算转速。

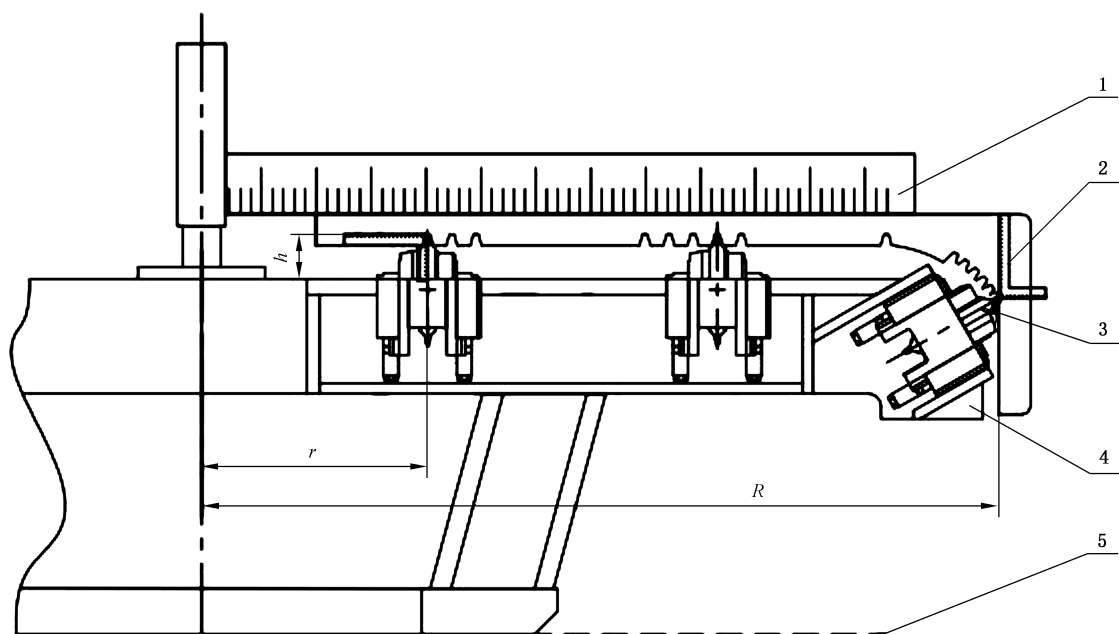
6.5 刀盘及刀具

6.5.1 刀具安装半径

- 刀具安装半径检测方法步骤如下:
- a) 将刀盘水平放置,以法兰面为基准调至水平;
 - 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) 直角尺水平紧靠测量工装,竖直边与刀盘刀刃中心线对齐,见图 3;
 - d) 记录直角尺对应工装的刻度值;
 - e) 计算得出最外端新刀开挖半径尺寸 R 值及其他刀具分布半径 r 值,并与设计值进行比对。

6.5.2 刀刃高度偏差

- 刀刃高度偏差检测方法步骤如下:
- a) 将刀盘水平放置,以法兰面为基准调至水平;
 - b) 将测量工装固定于刀盘面板中心,调整工装测量面与刀盘法兰水平;
 - c) 直角尺水平边紧靠测量工装,实刻线与刀具刀刃最高点中心线平齐,见图 3;
 - d) 记录直角尺对应工装上的刻度值、直角尺水平边到刀具最高点的刻度值;
 - e) 依次测出每件刀具的高度尺寸 h 值。



标引序号说明：

- 1——测量工装；
- 2——直角尺；
- 3——最外侧刀具；
- 4——刀盘本体；
- 5——水平基准面。

图 3 刀具安装半径、刀刃高度偏差检测示意图

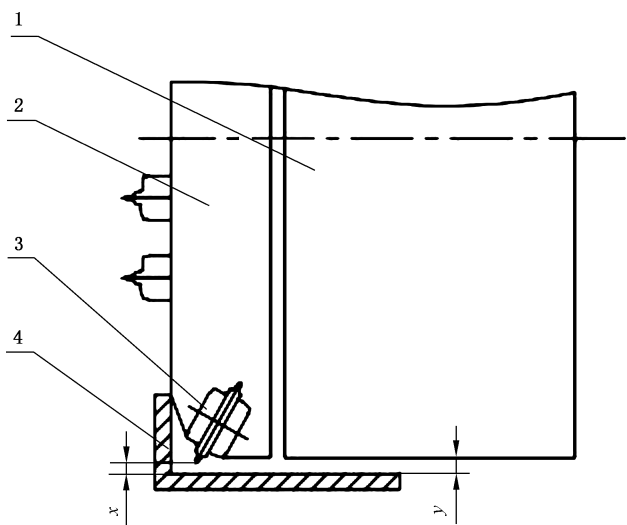
6.5.3 刀盘本体平面度

将刀盘本体水平放置于工作平台，用数显水平尺检查刀盘本体工作面的平面度。

6.5.4 最外侧刀具相对盾体高度差

最外侧刀具相对盾体高度差检测方法及步骤如下：

- a) 将检测装置固定在刀盘最外侧刀具位置，见图 4；
- b) 用钢直尺测量最外侧刀具刀刃与检测装置的径向距离 x ，记录测量结果；
- c) 将盾体等分为 12 个检测区域，缓慢转动刀盘，用钢直尺测量各区域检测装置与盾体的最小距离 y ，记录测量结果；
- d) 计算得出刀盘高差，并与设计进行比对。



标引序号说明：

- 1——盾体；
- 2——刀盘；
- 3——最外侧刀具；
- 4——检测装置。

图 4 刀盘外侧刀具相对盾体高差检测示意图

6.5.5 管路耐压

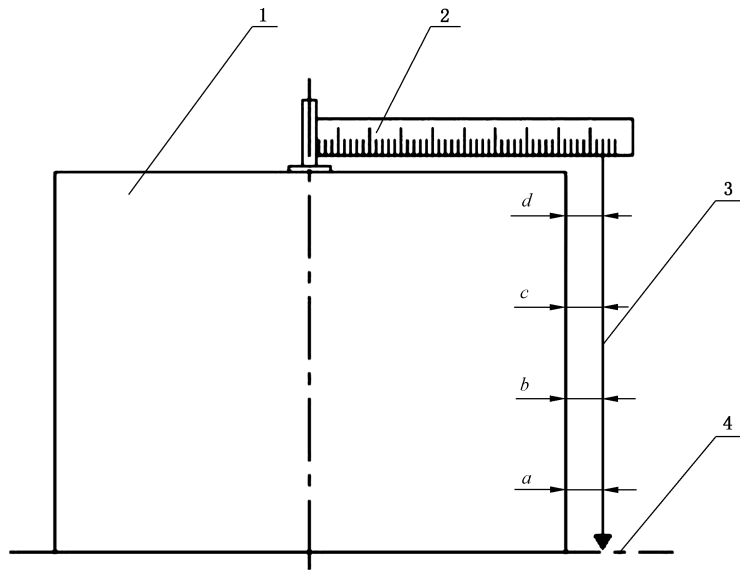
按 GB/T 37400.11 规定的方法进行刀盘内部管路耐压试验。

6.6 盾体

6.6.1 盾体外径偏差

盾体外径偏差检测方法如下：

- a) 将盾体放置在水平平台上，初定测量中心，将测量工装安装于盾体顶部，见图 5；
- b) 将吊线锤固定于测量工装上，距离盾体外圆约 50 mm 处，使线锤方向与测量工装上的整数刻度线重合；
- c) 沿周向每隔 30°分别用钢板尺测出外圆面与线锤间距 a ，计算吊线锤对应刻度值与各测量值的差值，得到盾体半径值，拟合盾体外圆轨迹，确定测量中心，将测量工装重新找正；
- d) 再次测量 a 值，计算出盾体半径值，并与设计值比对；
- e) 计算得出盾体外径。



标引序号说明：

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

图 5 盾体外径偏差及圆柱度检测示意图

6.6.2 盾体圆柱度

盾体圆柱度检测方法如下：

- a) 根据 6.6.1 的测量方法,分别测量 $a \sim d$ 值($a \sim d$ 位置的高度间隔约为三分之一盾体高度),见图 5；
- b) 根据 $a \sim d$ 各位置平面的测量值,计算最大值与最小值的差值,得到盾体圆度: $a_{\max} - a_{\min}$ 、 $b_{\max} - b_{\min}$ 、 $c_{\max} - c_{\min}$ 和 $d_{\max} - d_{\min}$,并与设计值进行比对；
- c) 根据 a)、b)的测量方法得出直线度和圆度的结果,计算出圆柱度。

6.7 主驱动单元

6.7.1 最大转速

空载运行刀盘,启动正转模式检查刀盘转动,在刀盘旋转平稳后,用秒表测量刀盘旋转一圈所用时间,计算刀盘正转转速,并与主控室操作面板数据比对。

6.7.2 正反转

启动反转模式,检查是否具有反转功能。

6.7.3 点动转速

点动状态下刀盘旋转,用秒表测量刀盘旋转一圈所用时间,计算刀盘转速。

6.7.4 联锁功能

启动停机保护制动器,在刀盘边缘施加最小 5 kN 的偏心载荷,检查刀盘是否有转动。

6.8 人舱

人舱气密性检测方法如下:

- a) 关闭舱门;
- b) 打开舱室进气阀;
- c) 将试验压力设定为最大工作压力;
- d) 关闭进气球阀,保压 30 min,记录压力下降值。

6.9 推进系统

6.9.1 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。

6.9.2 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,伸出过程中旋转推进速度旋钮,观察控制面板速度显示值。

6.9.3 伸、缩速度

在管片拼装模式下,推进液压缸全行程伸、缩,用秒表记录伸、缩时间,分别计算出伸、缩速度。

6.10 管片拼装机

6.10.1 功能检测

在空载状态下,将拼装机回转机构分别停留在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 位置,进行提升、平移、支撑操作;在管片抓紧状态下,将拼装机回转机构分别停留在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 位置,进行提升、平移、支撑操作。检测管片拼装机的功能。

6.10.2 制动性能

在管片拼装机抓取设计最重管片状态下,管片旋转过程中关闭动力源,检查制动性能。

6.10.3 纵向行程检测

用卷尺测量管片拼装机纵向最大移动距离,与设计值对比验证。

6.10.4 吸持状态检测

在真空吸盘式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。

6.10.5 载荷试验

载荷试验分为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,观察管片拼装机的状态。

6.11 螺旋输送机

6.11.1 转速

在螺旋输送机正向及反向旋转状态下,转速由零调至最大,分别用秒表测量 1 min 内旋转圈数或旋转 5 圈~10 圈所用的时间,计算得出转速。

6.11.2 后闸门应急关闭

在螺旋输送机后闸门打开至最大状态下,使用秒表测量断电后闸门关闭时间。

6.12 泥浆循环系统

6.12.1 系统功能

在掘进、旁通、隔离、逆洗及补浆模式下,检查阀门动作。

6.12.2 工作压力

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。

6.12.3 进、排浆压力、密度及流量装置

检查主控室界面能否显示进浆及排浆压力、密度及流量参数。

6.12.4 泥浆泵调速

调节泥浆泵的驱动电机转速,观察转速变化。

6.12.5 泥浆管延伸长度

操作泥浆管延伸装置移动架,测量移动架启、停行程。

6.12.6 泥浆循环系统急停功能

操作主控室急停按钮,检查泥浆循环系统工作模式。

6.13 液压系统

6.13.1 油液污染度

液压油污染度检测按 GB/T 20082 的方法进行。

6.13.2 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,当油温升高至设定的报警试验值时,观察控制面板报警指示,用温度计测量油温进行比较。当油温升高至设定的停机试验值时,检查主机停机状况,用温度计测量油温进行比较。

6.14 电气系统

6.14.1 供配电系统

6.14.1.1 TN 电网: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。

6.14.1.2 IT 电网:调定绝缘检测仪的绝缘电阻报警值,启动动力回路的电机,观察绝缘检测仪是否报警。

6.14.2 控制系统

按照掘进机掘进启动次序,启动各机构,检查各机构启动状况。按正常次序按压停止按钮,检查各机构停止状况。颠倒启动次序,检查各机构启动状况。

6.14.3 数据采集系统

6.14.3.1 在主控室操作面板上观察掘进数据及图形,并进行查询历史数据、导出和打印的操作。

6.14.3.2 在掘进机掘进作业状态下,在地面监控室查看掘进数据和视频图像。

6.14.4 视频监视系统

6.14.4.1 在主控室的监视器上,观察 5.12.6.1 规定区域的图像是否稳定、清晰。

6.14.4.2 在掘进机掘进作业状态下,在地面监控室观察 5.12.6.1 规定区域的图像是否稳定、清晰。

6.14.5 急停开关

6.14.5.1 在 5.12.7.1 规定的区域按压急停开关,观察掘进机的相应执行机构是否停止动作。急停开关复位后,观察能否恢复系统供电;在配电柜上按压复位开关后,再合上电源总开关,观察系统是否恢复供电。

6.14.5.2 在 5.12.7.2 规定的区域按压急停开关,观察相应机构是否停止工作;急停开关复位后,观察机构能否自行启动;在主控室或者操作箱上按下复位开关,再按机构的启动顺序启动,观察是否能正常恢复机构动作。

6.14.6 照明系统

6.14.6.1 检查照明灯的配置及防护等级,灯具的防护等级查看产品说明书。

6.14.6.2 在正常工作状态下,使用照度仪测量工作区域和人行通道的照度。

6.15 导向系统

6.15.1 设计轴线管理功能

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 空间位置检测功能

检查开始测量时导向系统是否自动捕捉激光靶或者棱镜。

6.15.3 数据查询、导出功能

在导向系统工控机上进行数据查询、导出和生成报表的操作。

6.16 辅助系统

6.16.1 回风速度

在隧道施工及二次风机运行正常条件下,用风速仪检测后配套拖车尾端的回风速度。

6.16.2 油脂注入系统流量报警

调节润滑泵出口压力,增大溢流量,降低出口有效流量。观察控制面板报警指示。继续调节压力,有效流量低于极限值,检查主机停机状况。

6.16.3 空桶检测功能

将空桶接近开关动作调节至设定位置,运行密封润滑系统。当到达指定位置时,观察主控室控制面板报警指示状况。

6.17 模式转换系统

6.17.1 土压平衡模式

在土压平衡模式下,对主控室面板上对泥浆循环系统进浆泵和排浆泵及阀组的启停及调速按钮进行操作,观察相关部件应处于锁定状态无动作;调出泥水平衡模式,上位机界面泥浆循环系统阀组开关操作应处于锁定状态。

6.17.2 泥水平衡模式

在泥水平衡模式下,对主控室面板上螺旋输送机系统、带式输送机、泡沫系统进行操作,观察相关部件应处于锁定状态无动作;调出土压平衡模式,上位机界面泡沫系统开关操作应处于锁定状态。

6.17.3 模式转换条件判别

在土压平衡模式下,旋转模式转换按钮切换泥水平衡模式,上位机界面输入确认口令,满足转换条件,则可进行模式转换,泥水平衡模式界面激活,土压平衡模式界面上的所有按钮处于锁定状态。不满足转换条件,则模式不能转换,泥水平衡模式界面无法激活,并弹出转换不成功的条件;反之亦同。

6.18 职业健康与环境安全

6.18.1 主控室噪声

在掘进机掘进作业状态下,用声级计测量主控室噪声。

6.18.2 声音报警音量

在掘进机掘进作业状态下,用声级计测量背景噪声,在距离声音警报装置 1m 的范围内测量报警装置的声压级。

6.18.3 气体检测

使用标准气体对气体监测系统进行测试。

6.18.4 阀门紧急关闭

系统断电时,观察阀门开闭情况是否与主控室监控画面上显示状态一致。

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。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	
	分类	系 统					工地组 装检验	试掘进 检验
1		整机参数	开挖直径	5.1.1	6.4.1	√		
2			推进速度	符合 设计值	6.4.2	√	√	
3			最大推力		6.4.3	√		
4			刀盘转速		6.4.4	√	√	
5	机 械 结 构	刀盘及刀具	刀具安装半径	5.2.2	6.5.1	√		
6			刀刃高度偏差	5.2.3	6.5.2	√		
7			刀盘本体平面度	5.2.4	6.5.3	√		
8			搅拌棒耐磨措施	5.2.5	6.2	√	√	
9			高差	5.2.8	6.5.4	√		
10			管路耐压	5.2.11	6.5.5	√		
11		盾体	盾体外径偏差	5.3.1	6.6.1	√		
12			盾体圆柱度	5.3.1	6.6.2	√		
13		主驱动 单元	主轴承设计寿命	5.4.1	查验计算书	√	√	
14			脱困扭矩	5.4.3	查验计算书	√		
15			最大转速	5.4.4	6.7.1	√	√	
16			正反转	5.4.4	6.7.2	√	√	
17			点动转速	5.4.5	6.7.3	√	√	
18			联锁功能	5.4.6	6.7.4	√	√	
19		人舱	气密性	5.5.2	6.8	√	√	
20			联锁控制	5.5.9	6.2	√	√	
21		推进系统	最大推进速度	5.6.3	6.9.1	√	√	
22			速度连续可调	5.6.8	6.9.2	√	√	√
23			伸缩速度	5.6.9	6.9.3	√		
24		管片拼装机	功能检测	5.7.1	6.10.1	√	√	√
25			制动功能	5.7.2	6.10.2	√	√	√

表 1 检验项目分类表 (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	
	分类	系 统					工地组 装 检 验	试掘进 检 验
26	机 械 结 构	管片拼装机	纵向行程检查	5.7.4	6.10.3			√
27			吸持状态检测	5.7.5	6.10.4	√	√	
28			载荷试验	5.7.7	6.10.5	√		
29		螺旋输送机	转速	5.8.2	6.11.1	√	√	
30			联锁检测	5.8.3	6.2	√	√	
31			后闸门应急关闭	5.8.5	6.11.2	√	√	√
32		带式输送机	联锁、急停功能检测	5.9.6	6.2	√	√	
33	泥浆循环系统		系统功能	5.10.1	6.12.1	√		√
34			工作压力	5.10.2	6.12.2			√
35			进、排浆压力、 密度及流量装置	5.10.4	6.12.3	√		√
36			泥浆泵调速	5.10.5	6.12.4	√		√
37	泥浆循环系统		泥浆管延伸长度	5.10.6	6.12.5	√		√
38			泥浆循环系统急停功能	5.10.9	6.12.6	√		√
39	液压系统		油夜污染度	5.11.2	6.13.1	√	√	
40			油温报警	5.11.3	6.13.2	√	√	√
41			测压点设置	5.11.4	6.2	√		
42	电 气 系 统	供配电系统	漏电保护功能	5.12.2.7	6.14.1.1	√	√	√
43			绝缘电阻报警功能	5.12.2.8	6.14.1.2	√	√	√
44		控制系统	联锁次序	5.12.3.6	6.14.2	√	√	√
45		数据采集 系统	数据收集功能	5.12.4.1	6.14.3.1	√	√	√
46			远程信息传输接口	5.12.4.4	6.14.3.2			√
47		视频监视 系统	掘进机内置监控	5.12.6.1	6.14.4	√	√	√
48			远程监控接口	5.12.6.3	6.2			√
49		急停开关	控制室急停开关	5.12.7.1	6.14.5.1	√	√	√
50			操作箱急停开关	5.12.7.2	6.14.5.2	√	√	√
51		照明系统	灯具防护等级	5.12.8.2	6.14.6.1	√	√	
52			照明检测	5.12.8.3	6.14.6.2		√	√
53	导向系统		测量仪器精度	5.13.1	6.2	√		
54			设计轴线管理功能	5.13.2	6.15.1			√
55			空间位置检测功能	5.13.3	6.15.2			√
56			数据查询、导出功能	5.13.8	6.15.3			√

表 1 检验项目分类表（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	
	分类	系 统					工地组 装 检 验	试掘进 检 验
57	辅助 系统	通风系统	回风速度	5.14.2.1	6.16.1			√
58		润滑、密封	油脂注入流量报警	5.14.3.2	6.16.2	√	√	√
59			空桶检测功能	5.14.3.3	6.16.3	√	√	√
60	模式转换系统		两种模式显示	5.15.1	6.2	√	√	
61			土压平衡模式	5.15.2	6.17.1			
62			泥水平衡模式	5.15.3	6.17.2	√	√	
63			模式界面显示	5.15.4	6.2	√	√	
64			模式转换条件判别	5.15.5	6.17.3	√	√	
65	安全要求		主控室噪声	5.16.2	6.18.1			√
66			声音报警音量	5.16.7	6.18.2		√	√
67			气体检测	5.16.8	6.18.3	√		
68			应急信息指示牌	5.16.11	6.2	√	√	
69			安全通道标志	5.16.13	6.2	√	√	
70			紧急疏散标识	5.16.14	6.2	√	√	
71			阀门紧急关闭	5.16.17	6.18.4	√	√	

7.2 出厂检验

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,出厂检验项目见表 1。

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 工地组装完成后,进行工地组装检验。
- 7.3.3 在完成制造商和用户协议的掘进距离后进行试掘进检验,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。
 - 制造商或用户有需求时;
 - 工艺、材料和结构有较大改变,有可能影响产品性能时;
 - 出厂检验与上次型式试验有较大差异时;
 - 国家管理部门提出型式检验要求时。
- 7.4.2 型式检验应检验表 1 规定的全部项目。

7.5 判定规则

全部检验项目合格,判定为合格。

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 掘进机出厂时,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;
- 整机质量;
- 制造商名称;
- 制造商地址。

9.1.2 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。警示标志和标语应符合 GB/T 34650 的规定。

9.2 包装和运输

9.2.1 包装应符合 GB/T 13384 的相关规定,并适合陆路或水路运输及装卸的要求。

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；
- 储运标志；
- 起吊作业标志。

9.2.3 运输应符合铁路、公路和航运的有关规定。

附 录 A

(资料性)

土压平衡-泥水平衡模式转换步骤

A.1 概述

模式转换需在对应的地层条件下进行,并提前制定模式转换技术方案,配备所需的工具和辅助施工设备。

本附录给出了一种土压平衡-泥水平衡模式双模式掘进机两种模式相互转换的步骤。

A.2 土压平衡模式转换泥水平衡模式

A.2.1 模式转换前准备

模式转换前需保证泥水处理站及所有泵、阀组等都能正常运行;需保证隧道管路已延伸至掘进机尾部连接管;泥浆池开始制浆,保证转换时能随时供应新鲜泥浆。

A.2.2 模式转换步骤

转换实施步骤示例如下:

- 停止掘进机掘进作业,关闭螺旋输送机后闸门,逐步形成内部土塞;
- 切换到泥水平衡模式,启动泥水处理站,分别运行旁通模式,保证泥水环流系统管路通畅正常;
- 打开隔板泥浆连接管路的各个手动闸阀,按补浆模式,往土仓添加泥浆;同时将盾体隔板顶部处的球阀稍微开启进行排气,联动操作来控制开挖仓的压力平衡;
- 土仓充满泥浆后,切换到逆洗模式将土仓渣土进行反复冲洗(切换前需先通过旁通模式稳定流量);同时启动刀盘低转速运转(转速不大于 0.6 r/min)进行搅拌渣土;同时开启自动泄压阀来调节土仓压力;
- 待逆洗模式能稳定运行后,再切换至开挖模式进行正常掘进。

A.3 泥水平衡模式转换土压平衡模式

A.3.1 模式转换前准备

模式转换前需保证渣车机组就绪,土压模式相关系统能正常运行。

A.3.2 模式转换步骤

转换实施步骤示例如下:

- 将刀盘转速、推进速度降至设定值,关闭进浆泵停止输送泥浆,关闭排浆球阀并将隔板处泥浆闸阀关闭,按预定模式进行排浆;排浆期间通过排浆泵排浆流量和推进速度的配合来平衡土仓压力;
- 切削下来的渣土进入土仓沉积到底部,渣土慢慢上升;当刀盘扭矩明显增大时,检测隔板处的闸阀是否堵塞,检测位置由低到高,确保该位置闸阀完全堵塞后再检测下一个是否堵塞,直至最高处闸阀也出现完全堵塞现象;

- c) 刀盘停止旋转,盾构机停止推进;继续按预定模式进行排浆;同时开启自动保压系统平衡土仓压力;直至排浆泵出现负压后,关闭环流系统,将隔板处所有泥浆闸阀关闭;
- d) 切换到土压模式,打开螺旋机闸门(闸门开度不大于 20%)、启动刀盘;设备重新开始推进,开始土压平衡模式的操作(在此期间需注意闸门喷涌的现象,可改良渣土降低喷涌风险)。

附录 B

(资料性)

刀盘装备扭矩计算方法

B.1 设计扭矩计算方法

B.1.1 刀盘装备扭矩

刀盘装备扭矩按公式(B.1)计算：

$$T = k \times (T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7) \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

T ——刀盘装备扭矩,单位为牛米(N·m)；

k ——系数；

T_1 ——刀盘的切削扭矩,单位为牛米(N·m)；

T_2 ——刀盘正面的摩擦力矩,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 ——刀盘圆周的摩擦力矩,单位为牛米(N·m)；

T_5 ——仓内搅拌力矩,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 ——主驱动密封装置摩擦力矩,单位为牛米(N·m)。

B.1.2 刀盘的切削扭矩

刀盘的切削扭矩按公式(B.2)计算：

$$T_1 = \frac{1}{8} \times D_d^2 \times q_\mu \times \frac{v_{\max}}{n} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

D_d ——刀盘直径,单位为米(m)；

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)。

B.1.3 刀盘正面的摩擦力矩

刀盘正面的摩擦力矩按公式(B.3)计算：

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

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_h ——刀盘中心水平土压,单位为帕(Pa)。

B.1.4 刀盘背面的摩擦力矩

刀盘背面的摩擦阻力矩近似等于刀盘正面摩擦阻力矩的 50%,按公式(B.4)计算:

$$T_3 = 0.5 \times T_2 \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

B.1.5 刀盘圆周的摩擦力矩

刀盘圆周的摩擦力矩按公式(B.5)计算:

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

式中:

- R ——刀盘开挖半径,单位为米(m);
- B ——刀盘边缘宽度,单位为米(m);
- P_z ——刀盘圆周土压(按埋深取值),单位为帕(Pa)。

B.1.6 仓内的搅拌力矩

仓内搅拌力矩由刀盘搅拌棒及刀盘扭腿搅动仓内渣土产生的扭矩和摩擦产生的力矩组成,按公式(B.6)计算:

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

式中:

- R_x ——搅拌棒的安装半径,单位为米(m);
- 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)。

B.1.7 主轴承旋转阻力矩

主轴承旋转阻力矩按公式(B.7) 和公式(B.8)计算:

$$T_6 = \mu_g \times R_1 \times (G + P_t) \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中:

- μ_g ——主轴承滚动摩擦系数;
- R_1 ——主轴承滚动半径,单位为米(m);
- G ——刀盘自重,单位为牛(N)。

$$P_t = (1 - \alpha) \times \pi \times R^2 \times P_h \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

P_i ——刀盘贯入载荷,单位为牛(N)。

B.1.8 主驱动密封装置摩擦力矩

主驱动密封装置摩擦力矩按公式(B.9)计算:

$$T_7 = \sum 2 \times \pi \times \mu_m \times F_m \times n_i \times R_i \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中:

μ_m ——密封与钢之间的摩擦系数,与密封材料特性有关;

F_m ——密封的推力,单位为牛(N);

n_i ——密封数量;

R_i ——密封的安装半径,单位为米(m)。

B.2 经验计算法

经验计算法按公式(B.10)计算:

$$T = \beta \times D_k^3 \times 10^3 \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

式中:

T ——刀盘装备扭矩,单位为牛米(N·m);

β ——扭矩系数,单位为牛每平方米(N/m²);

D_k ——刀盘开挖直径,单位为米(m)。

附 录 C
(资料性)
装备推力计算方法

C.1 理论计算方法

C.1.1 装备推力

装备推力按公式(C.1)计算：

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

式中：

- F ——装备推力,单位为千牛(kN);
- k ——系数;
- F_1 ——盾体摩擦力,单位为千牛(kN);
- F_2 ——尾刷与管片间摩擦力,单位为千牛(kN);
- F_3 ——开挖面支撑压力,单位为千牛(kN);
- F_4 ——后配套拖车拖拉力,单位为千牛(kN);
- F_5 ——刀具推力,单位为千牛(kN)。

C.1.2 盾体摩擦力

盾体与地层间的摩擦力按公式(C.2)计算：

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

式中：

- D ——盾构机外径,单位为米(m);
- L ——盾构机主机长度,单位为米(m);
- P_e ——盾构机上顶部竖直土压,单位为千帕(kPa)。
- K_0 ——掘削断面上土体侧向土压系数;
- γ ——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)。

C.1.3 尾盾与管片间的摩擦力

尾盾与管片间的摩擦力按公式(C.3)计算：

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

式中：

- n_1 ——尾盾内管片的环数;
- W_s ——一环管片的重量,单位为千牛(kN);

- μ_2 ——管片与尾盾间的摩擦系数；
 D_0 ——管片外径，单位为米(m)；
 b ——尾盾密封刷与管片的接触长度，单位为米(m)；
 p_2 ——尾盾密封刷内油脂压力，单位为千帕(kPa)；
 n_2 ——尾盾密封刷的层数；
 μ_3 ——管片与尾盾密封刷的摩擦系数。

C.1.4 开挖面的支撑压力

开挖面的支撑压力按公式(C.4)计算：

$$F_3 = \pi \times D^2 \times P_s / 4 \quad \dots\dots\dots (C.4)$$

式中：

P_s ——设计掘进土压，单位为千帕(kPa)。

C.1.5 后配套拖车的拖拉力

后配套拖车的拖拉力按公式(C.5)计算：

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

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。

C.1.6 刀具推力

刀具推力按公式(C.6)计算：

$$F_s = n_s \times F_c \quad \dots\dots\dots (C.6)$$

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)。

C.2 经验计算法

经验计算法按公式(C.7)计算：

$$F = \frac{\pi}{4} \times D_k^2 \times P \quad \dots\dots\dots (C.7)$$

式中：

F ——装备推力，单位为千牛(kN)；

D_k ——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)，土压平衡盾构机 P 一般为 1 000 kN/m² ~ 1 300 kN/m²。

附 录 D

(资料性)

泥浆循环系统计算方法

D.1 概述

本附录给出了泥浆循环系统的进浆流量 Q_1 、进浆管通径 D_1 、进浆流速 v_1 、进浆密度 γ_2 、排浆流量 Q_2 、排浆管通径 D_2 、排浆流速 v_2 、排浆密度 γ_3 等基本参数的计算方法。

D.2 开挖渣土量

开挖渣土量 Q 按公式(D.1)计算：

$$Q = A \times k_1 \times v_s \times \frac{60}{1\,000} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中：

- Q ——开挖渣土量，单位为立方米每时 (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 α ，以体积分数表示， $\%$ ；
- v_s ——设计推进速度，单位为毫米每分(mm/min)。

D.3 进浆浓度

进浆浓度 C_1 按公式(D.2)计算：

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

式中：

- C_1 ——进浆浓度， $\%$ ；
- 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，单位为千克每立方米(kg/m^3)；
- γ ——开挖面上的土体密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)。

D.4 排浆流速

排浆流速 v_2 与临界沉淀流速 v_L 有关，一般按 $v_2 = 1.2v_L \sim 1.25v_L$ 选取，临界沉淀流速 v_L 按式(D.3)计算：

$$v_L = F_L \times \sqrt{2 \times g \times D_2 \times (\gamma/1\,000 - 1)} \dots\dots\dots (D.3)$$

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，单位为米每平方秒(m/s^2)，取 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ ；
- D_2 ——排浆管通径，单位为米(m)；

γ ——开挖面上的土体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

D.5 排浆流量

排浆流量 Q_2 按公式(D.4)计算:

$$Q_2 = 900 \times \pi \times D_2^2 \times v_2 \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式中:

Q_2 ——排浆流量,单位为立方米每时 (m^3/h);

D_2 ——排浆管通径,单位为米(m);

注: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)。

D.6 进浆流量

进浆流量 Q_1 按公式(D.5)计算:

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

式中:

Q_1 ——进浆流量,单位为立方米每时 (m^3/h);

D.7 排浆浓度

排浆浓度 C_2 按公式(D.6)计算:

$$C_2 = \frac{C_1 \times Q_1 + Q}{Q_2} \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

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, %。

注: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 D.4 再次计算。

D.8 进浆密度

进浆密度 γ_2 按公式(D.7)计算:

$$\gamma_2 = (C_1 \times \gamma / 1\,000 + 1) \times 1\,000 \quad \dots\dots\dots (D.7)$$

式中:

γ_2 ——进浆密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

C_1 ——进浆浓度,以体积分数表示, %。

D.9 排浆密度

排浆密度 γ_3 按公式(D.8)计算:

$$\gamma_3 = (C_2 \times \gamma / 1\,000 + 1) / 1\,000 \quad \dots\dots\dots (D.8)$$

式中:

γ_3 ——排浆密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

C_2 ——排浆浓度,以体积分数表示,%。

D.10 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 按公式(D.9)计算:

$$v_1 = \frac{Q_1}{900 \times \pi \times D_1^2}$$

.....(D.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。
