

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250567

泉域复合地层土压盾构气压开仓气密性对策

何邦亮, 赵金辉, 梁益硕

(中铁上海工程局集团有限公司城市建设分公司, 上海市 201906)

摘要: 济南地铁某区间右线盾构区间下穿建筑物众多, 受制于复合地质条件的复杂, 盾构掘进参数出现异常。为保障盾构连续施工, 计划采取气压作业开仓检查, 但因对地质水文认识不足, 处置措施不到位, 致使闭气试验不达标。通过总结分析, 制定和实施了盾体管片止气环箍、洞内超前水平注浆和建立泥膜护壁等有针对性的技术保障措施, 气密性逃逸问题得到较好的解决, 顺利完成了气压开仓检查、维修和清理工作, 提高了工程技术人员对泉域复合地质条件的认识, 也为今后类似工程的开展提供了借鉴。

关键词: 泉域; 复合地质; 气体逃逸; 对策

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)01-0341-06

Countermeasures for Airtightness of Pressurized Opening Chamber of Earth Pressure Shield in Composite Stratum of Spring Area

HE Bangliang, ZHAO Jinhui, LIANG Yishuo

(Urban Construction Branch, China Railway Shanghai Engineering Bureau Group Co., Ltd., Shanghai 201906, China)

Abstract: During the construction of the right-line shield tunneling section of Jinan Metro, the tunnel will pass under numerous above-ground structures. Due to the complexity of the composite geological conditions, abnormal shield tunneling parameters are observed. To ensure the continuous construction of the shield, it is planned to carry out pneumatic operation to open the chamber for inspection. However, due to insufficient understanding of hydrogeological conditions and inadequate handling measures, the gas tightness test fails to meet the standards. Through summary and analysis, the targeted technical safeguard measures are formulated and implemented, including the air-stop ring clamps for shield segments, the advanced horizontal grouting in the tunnel and the establishment of mud film wall protection. The pneumatic chamber opening inspection, maintenance and cleaning work can be successfully completed, which will enhance the understanding of engineering and technical personnel regarding the complex geological conditions of the spring area and also provide a reference for the development of similar projects in the future.

Keywords: spring area; composite strata; gas leakage; countermeasures

0 引言

城市轨道交通主要建设在人口密集的城区, 受到地质条件、周边建(构)筑物等因素的影响, 车站之间一般采用土压平衡盾构施工。然而, 对于上软下硬的地层, 由于裂隙水分布不均匀, 采用土压平衡盾构施工时, 会出现螺旋输送机出渣口喷涌^[1]、刀盘扭矩、推力异常增大^[2]等突出问题, 此时需组织盾构机气压开仓作业检查^[3]。若在气密性不合格时组织气压作业, 往往会造成重大人员伤亡, 以及较大的社会影响。因此, 保证气压开仓的气密性是气压开仓作

业的关键控制因素^[4]。

针对以上情况, 孙海波等^[5]采用盾体外以膨润土泥浆封堵、掌子面以高效能泥浆形成泥膜封堵的方法; 钟长平等^[6]采用泥膜护壁的方法, 其气密性和隔水性均较强; 张帅^[7]采用洞内超前双液注浆加固; 江伟^[8]利用WSS注浆法, 对地层进行相对准确的追踪式注浆封堵; 孟海峰等^[9]提出, 保证地层稳定和舱内密封是盾构停机气压开仓作业的关键; 李义华等^[10]提出地层气密性封堵的施工工艺; 黄学军等^[11]提出防止开挖仓内的高压气体逃逸的具体措施; 陈世明等^[12]分析了气体逃逸的原因及应对对策; 唐崇茂等^[13]提出气压开仓所需的各种气体压力计算公式。

综合国内类似的工程, 一般都选择了1种或几种方法进行组合实践和应用。但结合本工程地处泉水

收稿日期: 2025-06-03

作者简介: 何邦亮(1985—), 男, 学士, 高级工程师, 从事隧道及地下工程施工技术与管理工作。

影响区域、掘进过程中地质均处于上软下硬的复合地层、周边环境相当复杂的情况,本项目基于前人的研究基础,综合分析后制定了有针对性的技术对策。

1 工程概况

1.1 工程简介

济南地铁某盾构区间右线自某站小里程端始发,至某站大里程端接收,区间右线单线长度为1 726.882 m,线路呈S形曲线设计,最小平曲线 $R=380$ m,纵坡为V形坡,竖曲线最大坡度为29‰,隧顶覆土厚度为11.3~22.1 m。

1.2 工程地质

盾构区间右线307环停机所处地层主要为中上部粉质黏土,底部为全风化闪长岩、强风化闪长岩和中风化闪长岩(见图1)。盾构机底部风化闪长岩分布不均,土质类似砂砾状,地质基本与中粗砂相同,岩石颗粒之间基本无黏聚力,盾构扰动会出现坍塌、脱空。其中,中风化闪长岩呈灰黄色至灰绿色,岩石质量指标RQD值为70%,质量等级为IV级,天然单轴极限抗压强度为7.5~32.9 MPa,平均为20.1 MPa。

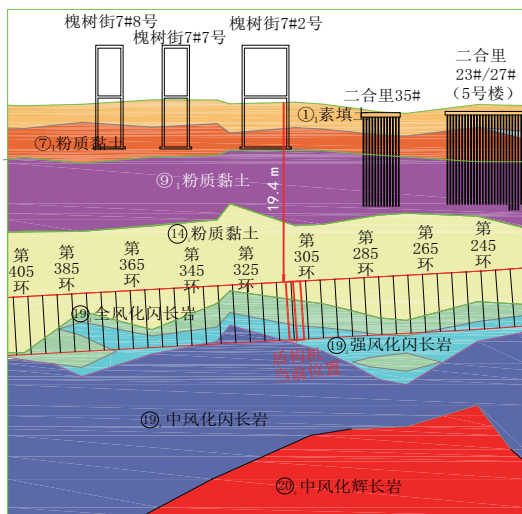


图1 307环停机位置地质纵剖面图

1.3 水文地质

盾构区间右线307环停机地层主要为闪长岩裂隙水,水头埋深为2.60~3.30 m,水头标高为25.45~28.08 m。裂隙水主要分布在全风化、强风化和中风化闪长岩层裂隙及碎块间的空隙通道中。根据详勘显示,此区域地层中的粉质黏土层具一定的透水性,上部潜水与基岩裂隙水具有一定的水力联系,地层常年受到裂隙水冲刷,渗透通道较为发达。

1.4 周边环境

盾构区间右线307环停机位置处于槐村街居民

楼下方(见图2)。该楼地上6层、地下1层,为砖混结构筏板基础,基础埋深为5.36 m,区间结构与桩基最小净距约为14.74 m。

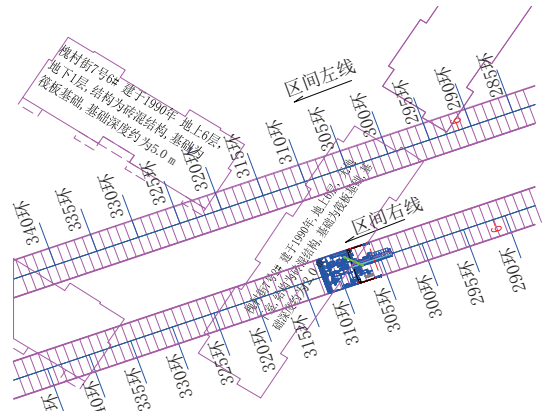


图2 307环停机对应的地面环境位置关系图

1.5 盾构机选型

盾构区间右线采用1台开挖直径为 $\phi=6\ 680$ mm的土压平衡盾构机,刀盘钢结构主要由“6辐条+6面板”组成,刀盘开口率为35%,配置了一定数量的滚刀、刮刀和超挖刀;刀盘设加泥喷口6个、泡沫喷口6个、膨润土喷口2个;人员仓系统配置了主仓和副仓,配置有害气体实时检测系统、视频监控系统 and 全气动压力调节装置,全气控装置按照双系统设计,1用1备;盾构前盾盾壳环向设8个超前注浆管路,中盾盾壳环向设6个超前注浆管路,超前注浆孔与盾壳水平夹角为 9° ,并在盾体胸腔隔板设4个超前注浆管路口。

2 仓内气压出现逃逸

2.1 盾构停机原因

区间盾构右线在掘进至307环时,刀盘底部逐步进入中风化闪长岩地层,处于上软下硬地层,此时,岩层裂隙水大量涌入土仓,造成土仓渣土过稀,使得螺机无法形成土塞效果,掘进时由螺机口喷涌,影响盾构正常施工,主要表现以下3个方面:一是泥渣一次性大量喷出,造成土仓压力骤降,影响地面周边环境安全;二是隧道管片底部淤积了大量喷涌的泥渣,影响拼装,清理工程量;三是盾构在上软下硬的地层掘进时,其刀盘扭矩大、掘进速度慢、地层被超挖,且刀盘外圈刀具极易磨损,造成盾构进度指标严重过低,无法正常施工。受以上3个主要方面的影响,在盾构区间右线开累掘进至307环后,考虑地面不具备地层加固条件,停机组织气压作业进入仓内进

行检查。

2.2 盾体及后方气密性控制关键技术

2.2.1 气压设定

按照盾构307环停机位置顶部覆土埋深、裂隙水水位和附加压力,可根据公式(1)计算确定气压法开仓换刀的工作压力值 P :

$$P = P_w + P_r \quad (1)$$

式中: P_w 为计算至隧道开挖中心的水头压力; P_r 为考虑不同地质条件、地面环境及开挖面位置的调整值。

区间右线盾构机停机气压开仓位置为307环,刀盘位于311环,开仓位置埋深为19.4 m,水位为2.3 m,水容重取值为 10 kN/m^3 ,附加压力设定取值为 0.02 MPa 。

代入上述公式,得到计算公式(2):

$$\begin{aligned} P &= (D/2 + h_1 + h_2) \times 10 + 20 \quad (2) \\ &= (6.4/2 + 19.4 - 2.6) \times 10 + 20 \\ &= 0.22 (\text{MPa}) \end{aligned}$$

式中: D 为隧道外径; h_1 为覆土厚度; h_2 为水位埋深。气压作业开仓工作压力设定为 2.2 MPa 。

2.2.2 盾壳径向注浆止水

盾构307环停机后,在中盾径向注浆孔注入高黏膨润土浆液,黏度为 $90 \sim 120 \text{ Pa}\cdot\text{s}$,泥浆比重为1.3以上,注入泥浆后压力比壁后水土压力略大 $0.05 \sim 0.1 \text{ MPa}$,让泥浆在盾壳四周形成封闭,封堵前、后方气体通道,并防止盾尾双液浆和聚氨酯浆液“包裹”盾壳,压注高黏度膨润土浆液后,必须关闭球阀,防止出现浆液反流。

2.2.3 盾尾止气环箍

为防止止气环箍双液注浆浆液包裹盾尾,在盾尾环向8个径向口注入聚氨酯,单孔注入 70 kg ,形成止气止浆环箍;聚氨酯止气注浆采用压力控制与注浆量2项指标控制,若聚氨酯注浆压力和注浆量指标任一项达到标准要求,则停止注浆,继续在下一个孔位注浆。待全部注浆孔完成注浆后,进行止气效果验证,即打设探孔,观察注浆孔内是否存在漏气、漏水、流浆等情况,若孔内还有渗水,则需继续补注浆液,直到无浆液和水流出为止。

2.2.4 管片壁后止气环箍

对盾尾倒数2~5环管片^[15]进行止气环箍双液注浆,注浆依据少量多次原则,在注浆三通管处安装压力表,便于判断注浆压力。注浆完成后,进行探孔验证,探孔允许滴水现象,但不得形成线流,否则判断盾尾止气不能满足封堵要求,必须再次对全环进行

止气环箍双液注浆。

2.2.5 盾尾刷止气防控

不定时对盾尾刷前、中、后3个腔体进行自动或手动注入油脂,确保压力不低于气压作业开仓工作压力,防止泥压和止气环箍注浆击穿盾尾,同时还要防止土仓保压漏气。

2.3 掌子面地层气密性控制关键技术

2.3.1 盾构机后退

盾构停机时,采用气压法辅助盾构机后退^[14],或采取主动铰接伸出的方法,使盾构机后退 10 cm ,为掌子面建立泥膜提供空间。

2.3.2 泥压设定

根据公式(1)的计算,307环停机气压开仓工作压力为 0.22 MPa ;根据《盾构法开仓及气压作业技术规范》^[15]及有关规定的要求,置换或分级加压过程应使土仓内压力高于工作压力($1.1 \sim 1.3$ 倍),即泥浆分级加注时的工作压力应控制在 $0.24 \sim 0.29 \text{ MPa}$ 。

2.3.3 土仓渣土置换

采用膨润土浆液对土仓渣土进行置换,膨润土和水配比按 $1:8$ 控制,膨化时间大于 24 h ,黏度大于 $50 \text{ Pa}\cdot\text{s}$,通过螺机排渣确定渣样膨润土占比超过 80% 以上或累计压注膨润土浆液大于 20 m^3 后可以停止置换。

2.3.4 实施渗透性泥膜

膨润土和水的配比按 $1:7$ 控制,配置高黏度渗透性泥浆,膨化时间不小于 12 h ,黏度大于 $70 \text{ Pa}\cdot\text{s}$,加压至 0.24 MPa ,保压 3 h ,每隔 1 h 转 $2 \sim 4$ 圈刀盘,保持泥浆均匀,对掌子面地层裂隙进行泥浆渗透。

2.3.5 实施嵌缝性泥膜

膨润土和水的配比按 $1:6$ 控制,配置高黏度填充性泥浆,膨化时间不小于 12 h ,黏度控制在 $90 \sim 120 \text{ Pa}\cdot\text{s}$,加压至 0.27 MPa ,保压 3 h ,每隔 1 h 转 $2 \sim 4$ 圈刀盘,将浆液向地层裂隙填充封堵,形成嵌缝性泥膜。

2.3.6 实施泥皮性泥膜

膨润土和水的配比按 $1:5$ 控制,配置高黏度泥皮性泥浆,膨化时间大于 24 h ,黏度大于 $180 \text{ Pa}\cdot\text{s}$,加压至 0.29 MPa ,保压 3 h ,每隔 1 h 转 $2 \sim 4$ 圈刀盘,一直通过压泥保压。

2.3.7 泥压试验和闭气试验

当泥膜建立完成后,组织泥压试验,注泥加压,当土仓压力由 0.29 MPa 回落至 0.24 MPa 且时间超过 100 min 时,可以判定掌子面已经形成泥膜。现场泥

压试验回落时间为120 min,说明泥压试验满足要求。

泥压试验达到合格标准的要求后,项目部随后组织闭气试验。现场采用螺机排渣,加气保压,将仓内泥浆液位降到腰部后,开始使用盾构机SAMSON全气控装置,向土仓内自动注入压缩气体,进行闭气试验。经测试,当空压机暂载率达到45.9%时,漏气严重,说明气体存在逃逸通道。现场采用气压将土仓压力增大至0.29 MPa,耗时30 min左右压降至0.24 MPa,压降速度较快,闭气试验不达标,气体出现逃逸,不能进行气压作业。

2.4 气体逃逸原因调查

从以下6个方面一一排查气体逃逸的原因。

2.4.1 盾构胸腔隔板注浆口漏气检测

当盾构机自动加气系统在盾构土仓内泥浆液位降至中心时,掌子面上部已经充分暴露,检测注入的压缩空气是否由胸腔注浆孔回气。经现场反复关闭阀门,验证无漏气,排除此类原因。

2.4.2 铰接密封漏气检测

当盾构机土仓内泥浆液位降低后,盾构机中盾铰接因没有泥浆环绕,高压气体击穿铰接密封,形成漏气通道。经现场排查,排除此类原因。

2.4.3 管路漏气检测

在盾构自动加气系统中,可能出现一些气管因接头、阀门安装不牢,或关闭不严导致漏气的现象。经现场排查,4号和5号台车间气管连接接头出现少量漏气,经复紧加固后,排除此类原因。

2.4.4 盾尾刷漏气检测

在盾构机盾尾处,油脂注入不均匀、压力显示不正确,或注入量不足,会导致尾刷与管片之间存在漏气通道。经现场排查,排除此类原因。

2.4.5 沿管片壁后绕流漏气检测

盾构机停止后,立即组织止水注浆,实际上,止水环箍距离盾尾达到10环,起初怀疑漏气是因止水环箍注浆距离盾尾较远。压入压缩空气,从盾壳向管片壁后空隙通道中绕流,进入沿线隧道裂隙地层,然后在盾尾后3环增设聚氨酯止水环箍,并在盾尾后5、20、50环等增设环向探孔进行验证,排除此类原因。

2.4.6 地层漏气检测

通过对地质详勘报告的研究分析,本工程位于济南城区偏西,地处济南泉城水域,济南城区地势呈南高北低态势,地下岩层结构由南向北向下倾斜,南部地下岩溶裂隙水朝向济南城区方向形成径流,长

年累月在地下形成通道并汇集,最终形成大量泉眼,裂隙水在受到岩体阻隔后,会沿着浅部岩层裂隙向上部土体渗透、联系。由此,通过地勘报告提示,盾构中、上部的粉质黏土层具有一定的透水性。说明该粉质黏土常年受到基岩裂隙水的向上渗透,已经形成大量水力通道,这是造成本次闭气试验漏气非常重要的原因。

综合以上调查分析可知,粉质黏土经过分级泥压,渗透效果不佳,当注入压缩空气进行闭气试验时,地层大量通道被高压气体击穿,形成逃逸通道。这说明,粉质黏土地层仅采用泥浆分级加压形成泥膜,技术上不可行,需对气体逃逸通道进行封堵。

2.5 盾构复推掘进

结合现场闭气试验不达标、不能继续组织气压作业的情况,综合考虑当前盾构机头正处于房屋下方,房屋安全最重要,在现场进行处理,风险较大。经过研究,决定立即恢复盾构掘进,根据盾构复推参数,选择其他合适位置进行开仓检查。

盾构复推后,盾构刀盘扭矩、掘进速度和螺机排渣等参数控制均恢复正常,这说明停机期间,通过土仓压注泥浆和盾尾止水,已经将地层大部分裂隙水进行了封堵。这种措施在后续盾构掘进过程中也应参考应用,可进一步解决闪长岩裂隙水对盾构掘进的影响。

3 保证气压开仓气密性控制对策

3.1 再次出现异常停机

在盾构区间右线开累推进至414环时,地质对应关系如图3所示,地面周边环境如图4所示。盾构再次出现螺机喷涌、刀盘扭矩增大、掘进速度慢等参数异常情况。依据对307环停机气体逃逸通道封堵的分析,项目部采用洞内超前水平注浆的方法,对地层孔隙进行填充加固^[7],以封堵气体逃逸通道,保证本次气压作业开仓检查顺利进行。

3.2 洞内超前水平注浆

3.2.1 注浆前准备

盾构机停机前,当前环上方中心120°范围管片暂不拼装,留出现场钻孔注浆作业空间,利用手拉葫芦、吊带及盾构机油缸,将钻机提升并定位,结合钻孔位置,在钻机底部搭设作业平台。

3.2.2 注浆总体要求

综合盾尾现场作业条件,以盾构机位于中、上部的3个超前注浆孔进行洞内超前水平注浆,设计外

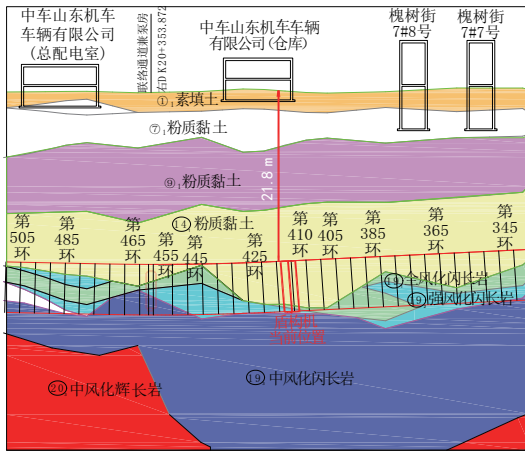


图3 右线414环停机对应地质纵剖面图

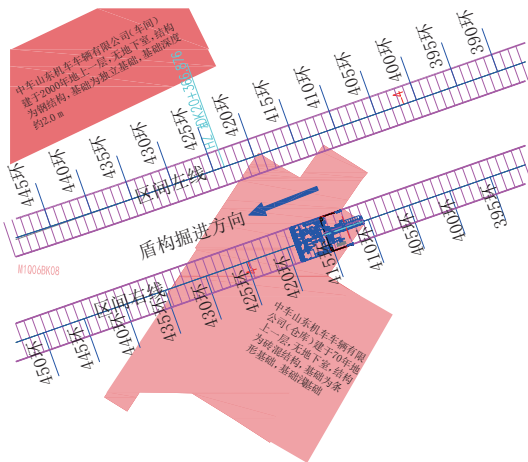


图4 右线414环停机对应地面环境关系图

插角度为 8° ,每孔采取分段注浆,浆液有所不同,分2个阶段进行。

阶段一:开始实施超前水平注浆时,采取前进式注浆,开钻至刀盘前0.5 m时,在开累钻进长度8 m范围内注入磷酸、水玻璃浆液,并进行封孔,防止后续钻孔及注浆时盾体外的浆液流入土仓内。

阶段二:在第一阶段封孔完成后,继续钻孔至18 m时停止钻进,采用后退式注入水泥和水玻璃混合液浆。

3.2.3 注浆施工参数及实施

(1) 注浆设备及配比

洞内超前水平注浆采用钻注一体机,注浆管采用 $\phi=42$ mm、壁厚3.5 mm的钢管。

注浆浆液配比:选用65%磷酸溶液,按照1:7稀释,浆液凝固时间为10~15 s;选用模数为3.0、浓度为 38°Bé 水玻璃,按照1:1稀释;选用强度等级为42.5 MPa的普通硅酸盐水泥,水灰比为1:1,浆液初凝时间为45~60 s。

(2) 注浆压力控制

洞内超前水平注浆按照注浆量、注浆压力、土仓

压力3重标注控制,在注浆过程中,全程关注土仓压力,注浆压力以起始压力0.3 MPa控制,最大不超过1 MPa。

(3) 注浆量确定

根据钻杆钻进长度和岩层中的孔隙率,对注浆量进行理论值计算,有效注浆范围内的注浆量 V 计算公式如下:

$$V = k_0 \times (h_1 + h_2) \cos 8^\circ \times l \times e/2 \quad (3)$$

式中: k_0 为扩散系数,取值为1.8; h_1 为钻杆首至开挖面的高度,中间取值为1.12 m; h_2 为钻杆尾至开挖面的高度,取值为2.53 m; l 为超前水平注浆孔开挖面的弧长,取值为3.5 m; e 为围岩孔隙率,取值为0.5。

$$\begin{aligned} V_{\text{阶段一}} &= k_0 \times (h_1 + h_2) \cos 8^\circ \times l \times e/2 \\ &= 1.8 \times (0 + 1.12) \cos 8^\circ \times 3.5 \times 0.5 \div 2 \\ &= 1.76 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{阶段二}} &= k_0 \times (h_1 + h_2) \cos 8^\circ \times l \times e/2 \\ &= 1.8 \times (1.12 + 2.53) \cos 8^\circ \times 3.5 \times 0.5 \div 2 \\ &= 2.85 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

阶段一采用钻注一体机每前进1 m注浆,注入磷酸和水玻璃混合液 0.22 m^3 ;阶段二采用钻注一体机逐段每后退1 m注浆,注入水泥浆和水玻璃混合液 0.57 m^3 。

(4) 结束注浆

结合盾构土仓压力变化,随着阶段二后退式注浆量的增加,土仓压力会不断升高,钻杆后退至8 m位置,当顶部1号传感器压力值变化超过0.5 MPa时,必须停止注浆,防止浆液压入土仓,裹住刀盘。

3.3 泥压试验及超前水平注浆效果

按照盾构停机位置所处理深、水文和附加压力,采用公式(1)计算411环停机气压开仓工作压力。经计算,将其设定为0.25 MPa;再根据《盾构法开仓及气压作业技术规范》^[15]及有关规定的要求,在置换或分级加压过程中,应使土仓内压力高于工作压力1.1~1.3倍,即将泥浆分级加注时的工作压力控制在0.275~0.325 MPa。

利用盾构机自带加泥系统,逐级完成土仓渣土置换、渗透性泥膜、嵌缝性泥膜和泥皮性泥膜注入,随后开始进行泥压试验,通过多次少量注入泥浆并进行分级加压,控制土仓上部压力(见表1)。

经现场泥膜试验统计分析,土仓压力从0.325 MPa回落至0.275 MPa的时间为155~203 min,均大于100 min,可以判定掌子面经超前水平注浆加固后,地层孔隙封堵效果较好。

3.4 闭气保压试验

掌子面泥膜合格后,还必须通过闭气保压试验

表1 泥压分级加压试验情况统计

序号	分级加压范围/bar	稳压时间/min	补充泥浆注入量/L
1	2.95 ~ 2.75	155	220
2	2.75 ~ 3.15	—	105
3	3.15 ~ 2.75	157	195
4	2.75 ~ 3.25	—	155
5	3.25 ~ 2.75	203	520
合计			1 195

合格,方可组织气压开仓作业。在现场泥压试验满足要求后,以螺机排浆降低土仓液位并注入压缩空气,判定闭气保压是否满足要求。主要分2个步骤进行。

一是将土仓泥浆液位降低至2/3处,观察土仓压力变化,若土仓压力保持2 h压力值变化小于5 kPa,则说明满足要求。

二是继续将土仓泥浆液位降低至1/3处,若土仓压力保持2 h,压力变化值小于5 kPa,则说明满足要求;同时,在闭气试验期间,若空压机暂载率小于30%,说明闭气试验合格。

现场闭气试验各参数如表2所示,在闭气试验压力下,空压机卸载时间基本为300~500 s,暂载率为4.4%~7.0%,保持压力达到2 h以上。经评价,保压试验成功,可具备气压开仓作业条件。

$$\text{暂载率} = \frac{\text{加载时间}}{\text{卸载时间}} \times 100\% \quad (4)$$

表2 右线414环闭气保压试验参数记录

序号	试验压力/MPa	空压机加载时间/s	空压机卸载时间/s	暂载率/%
1	0.8	21	300	7
2	0.8	21	340	6.2
3	0.8	22	360	6.1
4	0.1	21	480	4.4
5	0.1	22	500	4.4

在闭气试验期间,要一直观察盾构机土仓上部压力有无异常,地面巡视有无出现漏气,一旦发现压入气体存在漏气现象,须立即停止试验,重新调查分析原因,研究详细可操作的处置方案。

4 结论

本工程盾构在上软下硬复合地层穿越沿线多处既有建(构)筑物,环境风险影响大,气压检查气密性一旦不达标,会对开仓作业人员造成巨大安全风险,通过研究对策实施,得出以下结论。

(1)通过本工程实例,验证了泉域粉质黏土地层中存在气体逃逸通道,仅采用常规泥膜封堵方法,很

难达到气密性要求;而通过洞内超前水平注浆,可有效封堵掌子面粉质黏土地层中的气体逃逸通道,保证气压开仓作业,为后续以及今后类似地层开仓作业积累较为宝贵的施工经验。

(2)采用隧道洞内超前水平注浆加固后,刀盘前方粉质黏土地层密度提高,止水效果好,掌子面情况稳定,本工程经过超前注浆加固后,气压开仓作业效率提高约80%。同时,超前水平注浆加固也对地面沉降起到积极的抑制作用,保证地面建筑物的安全。

(3)采用隧道洞内超前注浆加固也有不足,因超前水平注浆加固采用双液浆,浆液进入土仓造成刀盘结泥饼,开仓时仓温高,需另外配置冰块降温,从而保证现场作业人员顺利完成气压开仓检查、维修和清理刀盘工作。

(4)本工程应用隧道洞内超前水平注浆,有效封堵了粉质黏土地层中存在的气体逃逸通道,措施合理、有效,若1次洞内超前水平注浆效果不佳,也可采用2次或多次洞内超前水平注浆、地面注浆和扩大注浆范围等措施,解决气压作业气体逃逸等问题。

参考文献:

- [1] 孟宪彪. 软硬不均地层盾构机开仓换刀状态下开挖面稳定控制技术[J]. 铁道建筑技术, 2017(12): 83-87.
- [2] 李春杰. 在上软下硬条件下带压开仓施工技术研究与应[J]. 科技创新与应用, 2019(5): 128-130.
- [3] 贾剑虹. 浅析地下密闭空间施工中实现稳定保压的必要性和方法[J]. 价值工程, 2019(10): 148-150; 151.
- [4] 杜国涛, 鞠瑞员, 陈林成. 复杂地质条件下土压平衡盾构带压开仓气密性控制技术研究[J]. 建筑机械, 2025(5): 264-268.
- [5] 孙海波. 土压平衡盾构全断面富水砂层带压进舱地层气密性封堵及其检测技术[J]. 隧道建设, 2015(9): 962-967.
- [6] 钟长平, 竺维彬, 邱小佩, 等. 盾构施工“衡盾泥”辅助新工法研究[J]. 现代隧道技术, 2016, 53(3): 1-7.
- [7] 张帅. 盾构洞内超前注浆加固在带压进仓作业中的应用[J]. 绿色交通, 2024(11): 150-152.
- [8] 江伟. WSS追踪式注浆法在盾构气压作业地层加固中的应用探讨[J]. 广东土木与建筑, 2024(7): 90-94.
- [9] 孟海峰, 翟志国. 大直径泥水盾构停机点地层加固措施及开挖舱密封技术探讨[J]. 隧道建设, 2011(增刊2): 26-34.
- [10] 李义华, 周兆勇. 泥水盾构富水砂层带压进舱地层气密性封堵技术[J]. 建筑机械化, 2013(11): 79-82.
- [11] 黄学军, 孟海峰. 泥水盾构带压进仓气密性分析[J]. 西部探矿工程, 2011(7): 202-204.
- [12] 陈世明, 张宏达. 大断面泥水盾构带压作业气体逃逸原因及对策[J]. 科技风, 2010(8): 182-183.
- [13] 唐崇茂, 梁兴生. 盾构带压进舱气体参数的分析和计算[J]. 机械工程师, 2012(4): 28-29; 30.
- [14] 牛刚, 曹树辉, 徐瑞坤, 等. 气压法辅助盾构机后退施工技术[J]. 现代隧道技术, 2023(11): 364-368.
- [15] GJJ 217—2014, 盾构法开仓及气压作业技术规范[S].