

### 4.3 系统发电量估算

为了确保光伏发电系统产生的电能能够满足污水处理厂的运行需求，在安装分布式光伏发电系统的过程中，需要注意以下几方面。首先，加强太阳能辐射模型的构建。然后再利用这一模型系统，对不同季节、不同天气条件下的日发电量进行估算。其次，污水处理厂内的建筑物、树木以及其他各种结构，都会投射阴影，对光伏发电系统的运行效率产生影响。在系统设计与建设过程中，必须要对这些阴影予以重点考虑，并在此基础上对系统发电量进行准确评估。

根据本文案例“污水厂+光伏”项目所使用的光伏电池组件性能，计算出上海石洞口污水厂光伏安装容量 12.3MWp，首年发电量为 1307.58 万 KWh，首先年利用小时数为 1072.05h；25 年运行期内，年平均发电量为 1244.18 万 KWh，年平均利用小时数为 1020.07h。上海白龙港污水厂光伏安装容量 34.7MWp，首年发电量为 3724.80 万 KWh，首先年利用小时数为 1072.02h；25 年运行期内，年平均发电量为 3544.21 万 KWh，年均利用小时数为 1020.04h。上海竹园污水厂四期光伏安装容量 4.47MWp，首年发电量为 478.73 万 KWh，首先年利用小时数为 1072.14h；25 年运行期内，年平均发电量为 455.52 万 KWh，年平均利用小时数为 1020.15h。

### 4.4 节能减排分析

根据大量的实践，将光伏发电系统应用到污水处理厂中，可以显著增强污水处理厂的节能减排效果。首先，光伏发电系统的应用，大幅度降低了污水处理厂对于传统电力的使用需求，减少了污水处理厂运行过程中对于化石燃料的消耗和对于二氧化碳的排放<sup>[4]</sup>。其次，光伏发电系统的应用使得污水处理厂在电能方面实现了自产自消，进而既降低了污水处理厂的电能采购成本，又降低了污水处理厂运行过程中对于外部电能的供应需求。

### 4.5 收益分析

将光伏发电系统应用到污水处理厂中，能够从以下三

方面获得收益。

首先，发电收益。即根据光伏发电系统的发电量以及当地政府部门的能源政策，对光伏发电系统的发电收益进行估算<sup>[5]</sup>。

其次，节约成本。在充分考虑污水处理厂自用电量与电网互联的基础上，可以对节省下来的具体能源成本进行有效的估算。

最后，环境政策激励。我国很多地区都制定了可再生能源发电激励政策，例如税收减免政策、补贴政策等。这些激励政策，也属于污水处理厂应用光伏发电系统的效益。

## 5 结语

综上所述，将光伏发电系统应用到污水处理厂中，对于污水处理厂的未来发展有着积极的影响。但是，要想充分发挥出光伏发电系统的应用优势，降低污水处理厂的运行成本，提高污水处理厂的发展效益，需要高质量的开展太阳能资源分析、系统主体设计、系统发电量估算、节能减排分析以及收益分析等工作。

## 参考文献

- [1] 赵霞,国磊.分布式光伏发电在污水处理厂的应用[J].中国高新科技,2024,(22):118-120.
- [2] 李辉航,谷建新,袁晓霞,等.支撑钢结构在污水处理厂光伏发电中的应用[C]//《施工技术》杂志社,亚太建设科技信息研究院有限公司.2023年全国土木工程施工技术交流会论文集(中册).中原新华水利水电投资有限公司;郑州市晟华光伏发电有限公司;,2023:372-374.
- [3] 李永康,辛金营.光伏发电系统在污水处理厂改造中的应用[J].现代建筑电气,2023,14(07):10-15.
- [4] 刘扬,熊骏.并网光伏发电系统在污水处理厂中的应用[J].化工设计通讯,2021,47(02):174-175+194.
- [5] 房镇,傅洪波,丁良才.分布式光伏发电系统在污水处理厂的应用[J].节能与环保,2019,(09):86-87.

# Reasons and control measures for floating of tunnel segments during shield tunneling in soft soil layers

Haiku Peng

China Railway Tunnel Group No.1 Co., Ltd., Chongqing, 401100, China

## Abstract

Shield tunneling in soft soil layers has multiple advantages, such as minimal impact on the ground, high degree of mechanization, good safety, and relatively fast progress. It has been widely used in tunnel construction. However, the partial or overall floating of shield tunnel segments is a long-standing and difficult problem to solve. If not handled properly, it will have a significant impact on the quality and safety of the project. This article explores the construction of shield tunneling machines in soft soil layers, analyzes the main principles that cause pipe segments to float, and proposes control measures from parameter optimization, assembly control, and other aspects. Finally, the application effects of different measures are demonstrated through engineering examples. It was found that the combination of various control measures can provide ideas for solving the problem of pipe floating during shield tunneling in soft soil layers, in order to ensure the comprehensive development of construction and provide technical references for improving project quality.

## Keywords

soft soil strata; Shield tunneling machine; Floating of pipe segments; Cause analysis; control measures

# 软土地层盾构机施工管片上浮原因及控制措施

彭海库

中铁隧道集团一处有限公司, 中国·重庆 401100

## 摘要

软土层中盾构施工具有多种优势, 其对地面影响小, 机械化程度高, 安全性良好, 进度相对较快, 已在隧道施工中得到广泛应用, 但盾构隧道管片局部或整体上浮是长期存在且较难解决的问题, 若处理不当, 将对工程质量和安全造成重要影响。本文围绕软土层中盾构机施工进行探讨, 分析造成管片上浮的主要原则, 进而从参数优化、拼装调控等方面提出控制措施, 最后结合工程实例论证不同措施的应用效果。结果发现, 各控制措施结合使用, 可为解决软土层盾构机施工管片上浮情况提供思路, 以期保证施工的全面开展, 从而为提高项目质量提供技术参考。

## 关键词

软土地层; 盾构机; 管片上浮; 原因分析; 控制措施

## 1 引言

软土层施工, 因其含水量较高, 具有低强度等特性, 使得盾构机施工面临着许多难题, 而施工过程中, 管片上浮是制约项目质量的重要因素。管片是隧道施工中的重要组成结构, 其定位的稳定与否对整个工程安全性及使用年限具有重要意义。近年来, 随着我国隧道工程的持续增加, 软土层中的盾构施工越发增加, 导致施工过程中出现大量的管片上浮现象, 这既会提高项目的整体造价, 也会带来严重的安全隐患。因此, 研究软土层中盾构施工中出现管片上浮的成因, 并提出相应的控制措施, 是提高盾构施工水平的关键。

## 2 软土地层盾构机施工管片简述

软土层盾构施工中, 管片是整个结构中相关关键的部分, 其不仅承担周边土体和地下水压力, 也要承载内部压力, 是实现隧道安全运行的重要部分。管片多为高强度、高耐久的预制混凝土, 以环缝形式逐环推进, 实现盾构隧道的衬砌施工持续推进。软土层中, 因地基承载力差, 管片拼装后, 需快速建立起能够抵御周边复杂应力环境的高效承载力。而管片质量及其与周边土壤的共同作用, 直接关系到隧道的稳定性, 是软土层中盾构施工的关键问题。

## 3 管片上浮的危害性

管片上浮将给盾构机施工带来诸多不利影响: 盾构推进过程中千斤顶顶力分布产生变化, 造成管片破损, 影响隧道质量; 上浮会导致隧道轴线出现偏离, 从而对线形定位造成不利影响, 这不仅影响以后的设备安装和管线铺设, 而且

【作者简介】彭海库(1988-), 男, 中国陕西礼泉人, 本科, 工程师, 从事盾构机研究。

还会引起围岩的受力不均匀,从而影响到整个隧洞的安全;施工期间,各节段接头将承受附加的附加受力,极易产生裂缝、错台等,使纵向连接螺栓受到额外的剪力,可能会造成管片破损,影响隧道安全从而导致渗漏。渗漏出现时,周边土壤受到的干扰将更加严重,从而造成地基的强度下降,从而产生恶性循环,加大工程建设风险;管片上浮还会引起地基沉降等不良后果,对周围居民生命财产造成威胁。

## 4 造成软土地层盾构机施工管片上浮原因分析

### 4.1 盾构机推进参数不合理

盾构施工参数设定,将对管片应力分布及定位的稳定产生重要的作用。软土层中,如果推进速率太快,将增加盾构施工对周边土壤的干扰,从而降低土体对管片的约束能力。高速推进还会导致未完全稳固的盾构隧道段承受随后的推力,极易发生上浮<sup>[1]</sup>。施工过程中发现,压力设置不合理,对管片产生较大的影响。当推力太大时,盾构机前部土体会受到过分压缩,并形成向上的推力,从而将管片顶起;如果推力不足,就无法给管片提供充分的承载能力,很难抵御周边土、泥浆的浮升力。

### 4.2 浆液性能不佳

同步灌浆作为控制管片位移的有效方法,其力学特性将对灌浆结果及管片结构的稳定产生重大的影响。如果泥浆浓度不足,且具有较高的流动性,则在灌注后极易产生泌水和离析,使其难以迅速产生有效的承载力,从而导致管片在浮力作用下出现上浮现象。软土层中,如果注浆不能及时固化,不能对其进行有效的控制,将导致管片没有足够的支护措施,将发生上浮现象。注浆抗压强度不够,固化后难以抵抗周边土壤及地下水的共同作用,造成管片在后续使用中出现上浮问题。

### 4.3 管片拼装质量欠缺

盾构施工期间,管片是非常重要的过程,其组装质量对整个结构的稳定至关重要。装配时,如果接头螺栓拧紧不当,接头强度不够,当受力时,接头极易出现相对移位,从而引起上浮。由于管片拼接时出现的环形面不平和平和相邻管片之间的错台,导致管片受到不同程度的受力不均匀,局部区域出现过大的应力集中,从而导致管片失稳,加剧上浮风险。装配完成后,由于管片本身存在的质量问题,将对整体结构的稳定产生影响。当遇到局部缺角、开裂等缺陷时,结构强度、刚度都会下降,并且在外界载荷下极易产生位移和上浮。

### 4.4 地质条件复杂

软土层自身特殊情况是引起管片上浮的主要原因。软土层中常含有粉砂层等,其物理、力学特性差别很大,导致其周边受力情况非常复杂。盾构施工中,由于地层对管片的约束作用将出现突变,极易导致管片上浮。软土层中的地下水作用对管片的稳定也有负面作用。地下水流将土体中细颗粒带走,造成结构性损伤,从而削弱土体对管片的承载能力;

因软土层的高度收缩,土体在施工期间产生显著的沉陷与变形,并将其传导至管片,引起其受力状况的变化,从而增大上浮的概率。

## 5 软土地层盾构机施工管片上浮控制措施探讨

### 5.1 参数适配调控技术

建立地质、参量、变形三者协同的动态响应系统,是实施参数适配技术的关键。工程实施前,需要通过地质雷达和钻探采样,建立相应的三维的地质模型,并将其分为流塑淤泥层、松散粉砂层等类型,并在各区域设置相应的推进参数<sup>[2]</sup>。对于流塑淤泥层,最初推进速率被设置成 20-25mm/min,推进压力被设置为 0.2-0.25Mpa;对于松软黏性地层,则可以提高到 30-35mm/min,将压力调节到 0.15-0.2MPa。

实际施工中,在盾构机尾部安装 8 组位移传感器,以 10Hz 的速率采集隧道管片的空间位置信息。在检测到的垂直位移大于 3mm/h 的情况下,该系统会自动启动控制参数的命令:如果上升率继续增加,首先按照 0.5mm/min. s 的顺序减小推进速度,并对进油缸压力进行分段推压,使得上部液压缸的工作压力下降 10%-15%,而下部液压缸的压力恒定,从而产生逆扭矩来阻止上浮。该技术的应用,在某跨滨江软弱土层施工中,通过构建掘进速率与上浮速率二次曲线模型,实现在刀盘转矩大于 3500 kN·m 时进行超前预报,将推进压力保持在 1.05-1.1 倍,实现轴向位移小于 5mm,比设计指标提高 40% 以上。

还需要将管片节段的位置信息相结合,对其进行动力补偿。在发现管片倾斜角度大于 0.5° 情况下,通过调节铰链液压缸的冲程,实现与管片之间的 3% 倾斜,并借助土的摩擦来平衡部分浮力。通过多因素的协调调节,实现对盾构管片的精确控制达到 1mm/h,从而为后期管片固化提供条件。

### 5.2 功能性浆液技术创新

功能性浆液技术的应用与研究,旨在打破常规的单项功能导向,以此构建瞬时支承、初期增强、长效稳定性三级性能系统。在选材方面,将含硫铝酸盐的水泥取代 30% 的硅酸盐水泥,并将其添加到 1200 目的有效外加剂中,将其 2 小时抗压强度提高至 3MPa,能够满足快速止浮的要求<sup>[3]</sup>。采用正交试验方法,优选出最优材料配比:对于水泥量在 350kg/m<sup>3</sup>,可将硫铝酸盐与普通硅酸盐的比设置在 3:7;主要原料的级配砂 700 kg/m<sup>3</sup>,其中将中砂:细砂配比在 2:1;再配合相对剂量的粉煤灰和水等材料,以保证浆体膨胀率为 220±10mm,泌水率小于 2%。

灌封过程的创新表现为对时间和空间的精确控制。在盾尾圆周上布置 6 个孔,分别为上部、中部和底部,每个孔均配置有单独的频率转换泵孔及测压装置。在施工过程中,采取分段注浆方法:施工初期,先将下部 2 个钻孔以 0.3MPa 的压力迅速充填,注水量占设计钻孔间距的 60%;施工中期,将中部灌浆孔打开,灌浆压力提高到 0.35MPa,灌注量