

# 新型盾构管片垂直运输装置风险分解及措施

吕奕俊

上海隧道工程有限公司 上海 200232

**摘要：**本文章围绕新研发的盾构法掘进隧道施工中，超深工作井管片吊运装置的安全风险进行研究，该相较传统门式起重机具备运行速度高、自动化程度高的特质。首先对新型设备使用环境、操作模式等因素存在的识别、分析、评估，并设计实施相对应的措施。旨在新型装置在高速吊运作业的情况下，确保安全高效运行，解决传统设备效率低、安全性差、协调性弱的问题。

**关键词：**盾构法施工；超深工作井物料吊运装置；安全高效

## 引言

目前城市隧道施工，面临超深化、高速化的趋势，同时在繁华地段施工场地及工作井急剧缩水。盾构掘进技术逐步走向数字化、高效化，伴随着日推进环数高速提升。长期以来，管片由地面输送至井下，主要依赖门式起重机作业，其效率低、安全性差、协调性弱，严重制约了盾构法施工效率的进一步提升，很难满足目前施工环境。创新研发了管片垂直自动运输装置，开启了高效、安全、智能运输的先河。该装置主要由地面输送系统和自动升降系统两大部分组成。本文对新型装置的使用进行安全风险进行分析，并做出针对性的措施。

## 1 装置的概述

本装置将用于桃浦污水处理厂初期雨水调蓄工程TP1.4标项目管片垂直自动运输，该项目盾构始发井深33m，隧道管片外径 $\Phi 4700\text{mm}$ ，内径 $\Phi 4000\text{mm}$ ，环宽1000mm，每环6块。（3块标准块，2块连接块，1块封顶块，连接块最重3t）。

管片垂直自动运输装置主要由地面自动输送机构，运动托梁，抓取输送机构，卷扬机，垂直钢框架，垂直输送机构导向机构，井下安全门，井下移动平台，等部件构成，如下为总体图示。

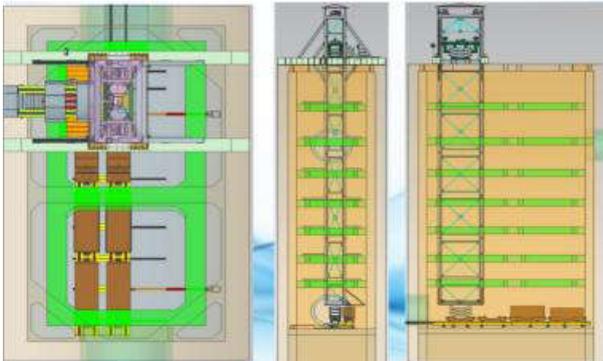


图1 管片垂直自动运输装置示意图

## 2 安全风险识别与分析对策

通过LEC作业条件危险性分析法对新型运输装置涉及到运行环境、操作及相关联人员、设备运行等方面进行分析，针对重大风险、较大风险的风险等级，得到以下几个风险源。

操作及相关人员的不安全行为造成的起重伤害。

（1）人员对操作流程错误造成起重伤害及机械打击，通过研发设备自动化控制系统，规避风险。

（2）驾驶员起吊动作过快，速度太快，同时进行两个动作，造成起重伤害，通过研发自动化操作流程及相关连锁控制，规避风险。

（3）吊满载荷重物时，未执行两次起吊，通过管片运输位置的自动识别技术，规避风险。

（4）设备保养不到位起重机械带病操作，造成的起重伤害，通过管片运输位置起升安全监控系统，规避风险。

（5）作业区域人员侵入，造成的起重伤害，通过设置安全门机红外线报警及PLC连锁操作，规避风险。

1）结构钢框架失稳，及机构附着物的支持力失稳。通过计算、合理设计规避风险。

2）高速运行造成设备的失稳，通过研究高速运行稳定性技术规避风险。

3）高速运行的设备防坠保护。

4）垂直运输装置与水平运输设备，交叉作业造成的机械伤害，通过新型设计安全门、红外线报警装置、PLC控制规避风险。

## 3 研究措施

### 3.1 垂直自动运输装置的运行流程设计

系统自检满足运行条件即可开始自动运输工作。如

**作者简介：**吕奕俊（1981年生），男，汉族，上海人，本科学历，研究方向为土压平衡盾构在砂质土层中掘进的土体改良技术。

果有任意条件不满足系统运行，通过系统内部连锁条件，自动运输系统将发出报警并不允许启动。

运输流程如下：

(1) 地面或井下总控操作指令就位；(2) 管片就位；(3) 管片平移输送吊机下方；(4) 吊机下行，管片抓取；(5) 吊机下行，送至井下车辆；(6) 吊机回到地面，等待下一个循环。

### 3.2 垂直自动运输装置自动控制软件程序

此画面为主画面，可以实时显示卷扬1和卷扬2的实时运行状态，卷扬机变频器报警发生报警时实时显示报警代码和故障代码，方便维修人员查找故障，同时可显示各开关和传感器的动作状态。

### 3.3 管片运输位置的自动识别技术

#### (1) 自动识别系统组成

位置识别系统作为位置自动识别系统的“眼睛”，承担着各类数据的收集，主要包括起升位置信号反馈、行走位置信号反馈等。其功能主要是进行设备的位置定位、高度控制、限位检测及防撞保护等。信号反馈系统中主要传感器原件包括起升机构位置编码器、行走位置阅读器、激光测距传感器等，信号反馈至PLC，通过PLC内设置的程序进行计算，达到系统控制的目的。

#### (2) 自动识别系统的功能

管片运输的位置自动识别系统在管片自动化运输机构中应用于以下几处：

- 1) 行车或地面叉车将管片放置在地面输送机构上，触发位置传感器；
- 2) 输送机构将管片送至抓取机构下方后，触发抓取机构上的位置传感器，系统确定管片位于抓取机构的抓取范围内后，开始管片抓取动作；
- 3) 抓取机构抓取管片后开始下行动作，钢框架侧面的位置传感器触发，记录并监控管片运动位置；
- 4) 管片下行至设定高度后，通过管片位置自动识别系统触发底部安全门开关，打开安全门，准许抓取机构通过；
- 5) 钢框架底部位置传感器与管片运输车位置进行识别，确定抓取机构准确将管片卸载至管片运输车指定放置位置。

### 3.4 管片自动抓取技术

#### (1) 结构组成

管片自动抓取机构主要包括：2个高速卷扬机、抓钩、钢结构框架、导向机构及调速模块等组成。

高速卷扬机作为管片自动抓取机构的核心运动部件，负责带动抓取机构的整体运动，调整抓取机构的抓

取位置及运输位置。

抓钩主要用于管片固定，同时考虑到施工环境的复杂性、调运对象的多样性，对抓钩做了适应性设计，使其能够抓取固定管片、土箱、物料箱等多种调运对象。

钢结构框架作为抓取机构的整体依托结构，上部与高速卷扬机连接，下部与抓钩连接。

#### (2) 工作流程

吊装管片进入自动抓取机构抓取范围→传感器识别管片位置及高度→管片抓取机构开始下行运动→管片抓取机构下行到传感器感应位置→抓钩夹紧。

#### (3) 管片抓取位置定位

管片自动抓取机构通过安装位置传感器及固定的管片运输轨道来实现水平垂直位置的准确定位。

首先，管片通过固定轨道运送至抓取机构下方，确保管片宽度在抓取机构张开方向的正下方。同时抓取机构上安装有红外传感器，以确定管片与张开状态的抓取机构无干涉现象，避免抓取机构在向下运动过程中与管片发生碰撞导致抓取动作失败。抓取机构下行至一定高度后，位置传感器触发，抓取机构满足抓取条件后，开始抓取动作，最后实现管片抓取位置的准确定位。

不同于以往传统的吊装机构，需要工人暴露在吊具下完成吊具与管片的固定工作，管片自动抓取机构直接与管片衔接去除人工环节，极大提升了人员操作的安全性。

#### (4) 管片自动抓取机构的设计

管片自动抓取机构的整体工作过程由固定轨道运输，传感器自动识别管片位置，抓取机构确认抓取条件满足后自动抓取管片来替代传统的施工工人与行车驾驶员跨区域沟通管片放置位置，吊具停留区域及起吊过程，避免了人手分离、环境干扰、反复调整位置造成抓取工作低效率进行的情况。

#### (5) 起升位置控制

起升机构配备位置编码器，能够实时提供垂直升降高度的精确数据，确保安全定位功能的实现。该编码器满足安全完整性等级SIL3 (Safety Integrity Level3) 和安全性能等级PLe (Product Level Evaluation) 的要求，且采用坚固的外壳设计，能够在隧道施工的恶劣环境中稳定运行。起升机构的绝对位置控制精度可达 $\pm 50$  mm，重复精度小于0.4 mm。

### 3.5 高速运行稳定性技术

本系统设计速度达到40m/min，升降高速运行时的稳定性尤为重要，升降机设计采用2台变频器分别驱动2台卷扬机的变频电机，各台变频电机上采用带光电编码器反馈的闭环控制。当产生控制信号时，PLC控制系统结

合变频器向交流电动机发出具体信号,使得电动机按照具体频率运转,经由传动系统实现升降机构卷扬机的运动。在电动机运转过程中,与电动机同轴安装的光电编码器需检测电动机实际转动角位移,经由内部信号处理电路,以脉冲的形式向PLC控制系统反馈电动机运转相关数据,由PLC控制系统对数据进行处理,结合变频器向电动机发出新的运行信号,消除多台电机运行误差,即可实现多台卷扬机的同步运行。

#### (1) 运行稳定性

自动抓取机构与行走轨道接触的四角采用导轮机构,在抓取机构整体升降动作时起到导向作用,避免走偏、晃动等情况的出现,能够大大提高机构运行的稳定性。

#### (2) 缓冲装置

在钢框架和抓取机构两端设定有弹性吸能装置,在货物接近运输车时,弹性吸能装置开始接触作为下降缓冲。

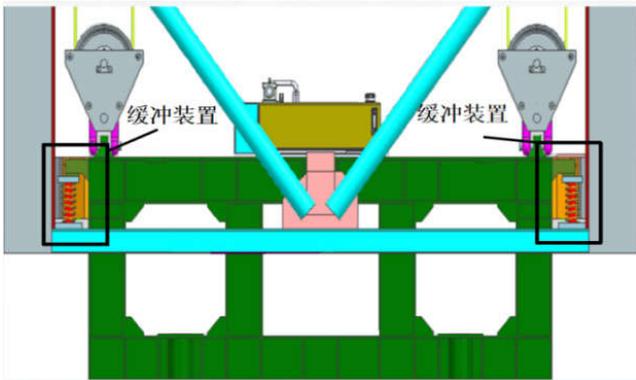


图2 吸能缓冲装置

#### 3.6 防失速措施

卷扬机自带紧急抱死系统,当卷扬机各感应装置感应异常时,自带的紧急故障系统会做出紧急故障警报,并紧急制动,使卷扬机制动器处于抱死制动状态。

#### 3.7 急停控制

在系统运行的任意一个环节,如果现场操作人员发现安全隐患或者系统运行异常,可以通过使用井上井下任意一个总控面板的急停按钮,避免危险情况的发生。

#### 3.8 车辆进出安全性设计

机构底部装有安全门,用以防止管片运输过程中出现管片坠落情况,对现场施工人员及设备造成损伤。当自动抓取机构下降到设定位置,位置传感器会发送信号,通过中央控制系统自动打开底部安全门,完成正常运输过程。同时,机构底部安装有红外线感应设备,如

遇人员或其他设备存在干涉,会触发红外线感应装置,现场报警铃声会立刻反应,做出警示,最大程度提升机构安全性。

#### 3.9 人员进入井下吊装区域需有红外线警示及警报功能

在井下如下图9标示位置,安装大功率两套对射光栅装置图,同时配有大功率声光报警装置图,在安全门打开后,报警光栅启动,当有人员穿越光栅时,启动井下声光报警,报警动作延时5秒后关闭,同时控制室PLC控制台上红灯闪烁。当人员或物体一直挡住光栅,则持续报警。

#### 3.10 水平运输中装置(平板车)停车位置信号需接入垂直运输装置系统。

井下增加一套油缸和泵站,在井下小车就位后(光电传感器控制的井下和控制室绿色等亮起),如果是需要开始运输管片,井上控制室开启泵站油缸,油缸升起将小车位固定,通过压力感应器识别是否定位OK;当管片放置到小车上,通过油缸上加装的压力感应器识别,油缸自动复位,小车司机可以移动小车到下一个位置,井下绿色灯亮起位置,需要下放管片时,井上重复执行以上动作。平板车限位固定。

#### 3.11 控制系统

运输系统通过起升高度位置编码器、倾角传感器和激光测距传感器实现自动化精准控制。这些设备的数据通过以太网和DP模块采集与传输,并经过系统分析,实现对设备的位置定位、高度控制、限位检测和防撞保护等功能。

## 4 结论

垂直运输系统实现管片从地面到井下的自动输送,进一步实现自动化的智能操作,提高隧道施工效率的效果,解决传统运输在空间运输上的稳定性问题,人员及设备操作上的安全性问题,整体运输流程的复杂性问题等。特别在始发工作井深的工况下,运输效率和安全性提升明显。

#### 参考文献

- [1]李严.地铁隧道盾构法施工的风险控制措施与实施[J].智慧中国,2025,(11):51-52.
- [2]逯建栋,宋彦杰,张美琴,等.联络通道采用盾构法施工对双线盾构隧道结构影响监测分析[J].市政技术,2025,43(07):197-205.