Research on the Civilized Construction and Cleaning Vehicle for Shield Tunnels under Construction

Yunsheng Huang

China Railway Tunnel Group Road & Bridge Engineering Co., Ltd., Tianjin, 300300, China

Abstract

The construction of subway sections in urban rail transit mainly adopts the shield tunneling method, commonly using earth pressure balance shields, accompanied by rail-based horizontal transportation. During the excavation process, the shield machine generates a large amount of slurry deposits inside the tunnel. If not cleaned in a timely manner, these deposits will accumulate in the track area, resulting in a dirty and messy tunnel environment, and in severe cases, affecting the normal transportation of electric vehicles, creating safety hazards.

Keywords

excavation slurry leakage; track area operations; high costs

在建盾构隧道文明施工清理车的研究

黄运生

中铁隧道局路桥工程有限公司，中国·天津 300300

摘　要

各城市轨道交通建设地铁区间主要采用盾构法施工，普遍使用土压平衡式盾构，配套采用有轨水平运输。盾构机在掘进施工过程中会产生大量泥渣掉落在隧道内，如果不及时清理会在轨行区堆积，导致隧道内环境脏乱差，严重时影响电瓶车正常运输，造成安全隐患。

关键词

掘进漏泥渣；轨行区作业；费用高

1 土压平衡式盾构隧道文明施工现状

城市地铁规划建设时，每个地铁区间距离都比较长，一般区间线路纵断面为 V 型坡，盾构机在掘进时和隧道内渣土运输时容易遗撒泥渣，如遗撒的泥渣没有及时清理，在隧道内日积月累，泥渣就会淹没电瓶车轨道

这些泥渣的来源是在掘进和运输过程中受各种因素影响产生的，没有及时清理累积而成，主要来源有以下几方面:

⑴盾尾漏砂浆、泥浆。在长距离掘进中盾尾刷密封性能变弱，或是盾尾油脂注入不够、不均匀及油脂密封性能比较差，导致盾尾漏浆、漏泥。

⑵螺旋输送机漏泥浆。掘进时渣土改良不好渣土时稀时干，或是地下水丰富，在螺机闸门开启时突然喷涌。砂砾地层长距离掘进，螺机仓门封闭密封磨损导致漏浆。

⑶皮带输送机漏渣。由于刮泥板刮泥不干净，皮带上粘附的泥砂被传送到皮带架下掉落，或是皮带跑偏没及时纠偏泥渣从皮带上甩落。

⑷皮带架下料口，渣土下落时飞溅。渣土在皮带传送下，以较快的速度下落，掉进渣土罐时产生飞溅，泥渣掉落。或是皮带下料口处的冲洗导致的飞溅掉落。

⑸电瓶车编组在拖车内接渣，渣土罐装得过多泥浆溢出，或是渣土罐编组停车位置偏差，靠近渣土罐两端连接处，导致泥渣遗漏。

⑹电瓶车编组在输运途中的遗撒。当隧道转弯半径过小，隧道坡度较大，电瓶车渣土罐在转弯或上下坡时，渣土罐内的泥浆在惯性作用下晃动遗撒。

⑺砂浆车在拖车内抽送砂浆时漏撒。当抽送完砂浆，输送管在拆除过程中，输送管内剩余的砂浆会撒落出来；同时在抽完砂浆后清洗砂浆管及罐时会撒落一些浆。

⑻拖车内清洗生产的泥渣。管片拼装前的清洗、盾构拖车的清洁、成型管片的清洗等等，所有清洗的泥水都汇集到隧道最低点，越积越多。

以上这些污染物如果及时清理，清理起来还是比较方便的，如果等待时间长了，泥渣沉淀后会有一定强度，人工装袋就更费劲了。 就这种文明施工状况是不符合各单位的

【作者简介】黄运生（1979–），中国湖南祁阳人，本科，工程师。

管理要求的，也不适合时代的发展。

2 市场调查分析

2.1 市场调查

经调研其他施工单位对在建盾构隧道内泥渣处理，都是采用人工清理方式，还有没找到合适的清理专用设备。在运营铁路隧道和运营地铁隧道有类似的清理设备，主要以清理隧道内粉尘、尘土，不能处理泥渣，其应对环境和性质不适合在建隧道。目前市场上还没有一款针对在建盾构隧道文明施工清扫、处理设备，能配合电瓶车编组使用，不影响掘进施工，随时能完成施工过程掉落的泥渣清扫及泥浆抽排处理。

2.2 发展目标

各地轨道交通建设单位对现场文明施工有着极高的要求，对安全生产一票否决制度。随着基建市场压缩，施工单位的工程越来越少，对成本管制越来越严；不是以前那种投入大量人工费来搞文明施工，花费用保进度，舍安全保工期。现在是各单位对现场文明施工是标准化、常态化，安全生产一票否决制度的时代。

3 隧道清理车设计原则及功能

3.1 隧道清理车设计原则

⑴以人为本：隧道清理车的操作简单、便捷，司机在电瓶车正常操作模式下，一键盘启动清扫模式，不过多增加电瓶车司机工作强度。

⑵智能化：隧道清理车与电瓶车组合和分离操作简单、快捷；司机在操作室一键开启，可实现多功能清扫模式，电瓶车编组进出一趟隧道就能完成一次清扫，且清扫干净、快速，清扫的泥渣能集中处理。一套设备可使用多个项目区间。

⑶安全高效：使用机械化清扫，避免人员进入轨行区作业，减少安全隐患。且清扫效率高，使用方便。以前电瓶车编组配置方案：一台电瓶车机头，四台渣土罐，一台砂浆车，一台膨润土车，二台管片小车。隧道清理车配置在电瓶车机头前端，不影响电瓶车司机行驶视线，不影响施工掘进。

3.2 隧道清理车的功能

⑴随时开启清扫。对隧道内轨行区及隧道底部 90 度范围的泥渣、尘土、杂质等进行清扫。司机一键启动，随时将掉落的泥浆、尘土、杂质等进行清扫，保持隧道内干净、整洁。

⑵能适应各类隧道环境。一般隧道区间设计成 V 型坡，V 型隧道只能清扫下坡，清理车在冲洗时要随着坡度变化自动调节冲洗方向，将掉落在隧道内的泥渣、尘土等杂物顺着坡度冲洗到隧道最低点集中处理。

盾构掘进时隧道内重点污染区域为电瓶车轨行区及隧道下部 90 度范围内。因此电瓶车重点清扫范围为轨行区及隧道下部 90 度范围内。隧道其它部位安设有各类电缆电线、照明灯具等不宜频繁用高压水冲洗，且受污染源较小。

清理车随电瓶车编组进出隧道，隧道内除了轨行区宽度是固定外，隧道下部 90 度范围内其它地方宽度是有变化的，例如进出盾构拖车、电瓶车会车区域、反力架等等，因此需要根据路况调节清洗装置的宽度（图 4-1 所示）。

⑶根据隧道内遗撒泥渣量的多少及渣块的大小变化，选择冲洗模式，第一种是节水模式，该模式主要是节约用水，针对泥渣块小、量不多的情况下，选择高压细冲模式，这种模式可随时开启冲洗，能长时间、多频次冲洗。第二种是高压快冲模式，主要针对泥渣块较大、量较比多的情况，这种模式冲洗能力比较强，用水量偏大，需要固定时间冲洗，例如每天交接班时冲洗，或其它原因不掘进时冲洗等。

⑷隧道最低点沉积物的处理。撒落在隧道下部的泥渣、尘土等被清扫车冲洗汇集到隧道最低处，经过简短的沉淀，泥水分离，水被最低污水设备输送到隧道洞口外；沉积的泥浆通过隧道清理车上配置的泥浆处理系统把泥渣抽到电瓶车渣土罐里运输出随掘进渣土一处处理。在隧道最低点 10m 的范围，将轨枕高度抬高到 100-150mm(正常轨枕高度 50mm 左右), 增加收集容量，有利于泥浆的沉淀，方便泥浆的抽排处理。

泥浆处理系统开启简单，抽浆体能自由伸缩，接触到底部管片自动停止，抽完泥浆自动收回、锁定，不影响电瓶车正常行驶，不碰坏轨枕等设施。当遇到泥渣沉积板结或砂浆沉积，系统自带搅拌冲洗功能，对顽固的污物也具备清理功能，避免人员进入轨行区作业。

⑸隧道上部 270 度以内的管片清洗，配备两种清洗模式，高压冲洗和特高压冲洗；隧道上部 270 度以内管片的污染源比较小，污染也没有那么严重，只需要定期高压清洗就能保持隧道管片干净。

隧道上部 270 度以内范围，主要污染物是电瓶车运输生产的尘土附着在管片上，或是管片脱出盾构拖车时皮带机飞溅的泥渣附着在管片上，或是二次注浆遗留下来的浆液。这部分管片上依次安装有进出通道、通风管道、高压电缆、动力电线、通信电线、照明灯线、配电箱、进回水管、污水管等，对于线缆部分不宜频繁被高压水冲击，也不宜被水浸泡。以上这些物体的高度和宽度各有不同，占据隧道一定面积和空间，因此这个区域的清扫只能固定时间清理，同时需要配备一名人员操作分区域、分重点采用高压模式冲洗，在清理车上设有专用操作平台。针对管片局部受污染特别严重，或隧道内顽固污渍及大块的渣需要冲洗时，配备特高压模式冲洗。可利用每天交接班时间清洗或每月倒班时间清洗，不会占用正常掘进时间。

⑹隧道清理车整体性能强。具备操作简单，运行安全，工作效率高。与电瓶车编组连接简单方便、安全可靠，用水用电接驳快捷方便，无论是管片清扫工作、还是设备添加水时不占用施工掘进时间。

4 隧道清扫车的设计制造

4.1 钢结构设计

⑴运输底盘。采用现有的管片运输小车，将清理设备直接安装在上面，与电瓶车编组快速连接。如果没有多余的

管片小车，购置型材和轮对，仿照管片运输小车样版加工。

⑵水箱。市场采购 3-4 方的不锈钢水箱，或采购钢板加工后做防锈处理。

⑶喷水装置及管路。采用型材和镀锌钢根据图纸管加工。

⑷抽排水装置。采用型材和钢管根据图纸管加工。

4.2 主要零部件的设计

4.2.1 喷头的设计

隧道下部轨行区设有轨枕、轨道，高度约在 200mm 左右，喷头距离设计不能太远，太远喷射水容易发散，导致冲洗力不够，也不能太近容易碰撞到物体。因此，喷头离管片面约 200-350mm；采用扇形喷嘴，喷射角度约 40 度。喷射角度过小，喷头数量就越多，喷射角度过大，喷射水越容易发散，失压。

喷嘴参数选择考虑，喷嘴口径过小，随着洗清泵工作压力的提升，射流到工作表面也有可能产生反弹，从而对高压喷射洗清工作产生干扰，甚至使射流雾化，以至于降低清洗效果。相反若喷嘴口径大，则压力低从而达不到良好的清洗效果。

4.2.2 喷水装置（节水模式）

喷水装置设计为两段弧形架构，用 50mm 镀锌方钢弯曲，弯曲半径根据隧道管片内径确定。两段喷水装置前后错开安装，清扫轨行区时，两段重合清扫；当要清扫隧道下部 90 度时，两段喷水装置向外延伸，到达设计角度自动停止。然后根据隧道坡度选择喷射方向。在每段喷水装置上安装 9 个喷头，一字排开，确保管片每个面都能清扫到，没有遗漏死角。

4.2.3 喷水装置（高压快冲模式）

在运输车前后两端各安装两个扁平扇形喷嘴（两个向前，另两个向后），左右两侧各一路，该喷嘴覆盖面积大、水流冲击力强，根据坡度切换冲洗方向。主要针对隧道内漏泥渣严重、污染距离长，可以实现快速清扫。

4.2.4 隧道上部 270 度范围内喷水装置（高压或特高压模式）

喷水装置安装在平板车上部，配置高压水炮，工作压力 10-35MPa，可切换直流喷射（集中水柱，冲击重点目标）和喷雾模式（覆盖面积大，主要用于清扫尘土）。配置高压水枪，重点清理顽固污渍。需要配备一名操作人员定期清扫。如图 5-1 所示。

4.2.5 高压水泵

高压水泵是各喷头的动力来源，流量和压力需要满足各系统的需求。节水模式，使用的 18 个喷嘴，喷嘴参数：孔径 0.9-1.1mm，流量 2.0-3.5L/min，压力 10-20Bar。高压快模式，使用两个扁平扇形喷嘴，喷嘴参数：压力 10-30Bar，孔径 1.0-1.3mm，流量 7.2-12.5L/min。设计两台高压泵，高压泵参数：压力 35MPa，流量 36L，电机功率 15KW，分别对应一个支路系统，可多种模式互相切换（节水模式、高压快冲模式、高压或特高压模式）。

4.2.6 泥浆处理系统

隧道下部剩余的泥浆比较粘稠、还夹杂有砂石，对抽浆泵的性能要求比较高，一是吸浆能力，能将粘稠的泥浆及砂浆吸取干净；同时将粘稠的泥浆及砂浆通过管道输送到渣土罐内，不能频繁堵塞抽浆泵及管道；二是抽浆泵的体积不能过大。

常用的有两种泵，泥浆泵和污水泵。泥浆泵的特点：专攻高浓度、高粘度，可处理含沙量 30% 以上的悬浮液及含岩屑液体。污水泵特点：适合低浓度小颗粒液体如生活污水、工业污水，颗粒直径一般不超过 10mm，常含纤维杂质。隧道清理车优先选择泥浆泵作为主泵，泥浆泵型号选择 3PNL 或 NL65。电机功率 7.5-15KW。

4.2.7 电路系统

①节水模式、高压快冲模式、高压或特高压模式。这三种模式不是在同一时间使用，三个系统可共用两台高压水泵，通过控制系统切换工作模式。电路系统里有主电路、控制电路，主电路给两台高压水泵供电。控制电路系统分为：主电路控制系统、各个辅助系统电路、各个限位报警系统等。主要电气元件集中安装在配电箱内，做好防水措施。

②泥浆处理系统。泥浆处理系统电路是单独一套电路系统，电路原理跟以上相同。

以上系统的主电源从电瓶车上牵引，同时能保障电瓶车掘进时的正常运输。每台盾构机配置两台电瓶车编组来供应掘进施工，在其中一台电瓶车编组配置一套隧道清理车，正常掘进时间，保持每班清扫一二次，隧道内就能保持干净，做到文明施工常态化。主要将清扫工作每班安排在交接班前后，清扫完就给电瓶车充电，不影响接班的使用。再有目前电瓶车都采用锂电池 + 快充电，充一次电用 20-30min，电瓶车在外面等车时就能完成充电。

5 结论

一般盾构区间长度在 1300m 左右，一条线至少配置 3-5 人，按 5 个月左右掘进完成，同时还需要投入铁锹、铁镐、编织袋等材料和工具，所有费用加起来在十万级以上。

正常掘进时，工人进入轨行区清理作业，电瓶车进出时要减速让行，工人离开轨行后才能通行，给正常掘进流程带来降速，延长了掘进工期。同时带来了安全隐患。工人泥渣装袋，工作强度大、效率低，有时候隧道掘进了泥渣还没清理完，要花更多时间和费用清理。

参考文献

[1] 王旭荣，《重载铁路隧道清扫系统的研究与应该》.《科技情报开发与经济》2011年（17）.

[2] 薛永庆，《全断面隧道掘进机同步清理台车研究》.《施工技术》2015年（S2）.

[3] 赵强，《铁路隧道内道床煤粉机械化清理装置的研制》.《今日制造与升级》2025年（03）.