

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2018.04.045

# 输水隧洞长距离皮带机出渣系统设计

毛 渐

(新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000)

**摘 要:**为解决新疆 XE 超长深埋输水隧洞Ⅷ标段出渣方案问题,从技术、经济和安全等方面对三种出渣方案进行了阐述对比,分析认为皮带机出渣方案技术更成熟、造价更低、安全性更高,因此该标段隧洞出渣最终采用皮带机出渣。其次,从 TBM 分段掘进、施工支洞、皮带机布置、输送参数方面介绍了该标段洞内皮带机出渣系统设计,为类似隧洞工程出渣设计提供参考和经验。

**关键词:**长距离皮带机出渣;设备选型;出渣系统布置

中图分类号:TV53

文献标识码:A

文章编号:1672-1144(2018)04-0236-05

## Slagging System Design of Belt Conveyor for Long Distance in Water Tunnel

MAO Jian

(Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute, Urumqi, Xinjiang 830000, China)

**Abstract:** To solve the problem of Ⅷ blocks on slag scheme of the XE long buried deep water conveyance tunnel in Xinjiang, three slag scheme comparison has been made from the aspects of technology, economy and security, the analysis shows that the belt conveyor slag solution technology is more mature, which has lower cost and higher security, therefore belt conveyor slag was recommended. A block hole endothelial machine slag system design was then introduced from the TBM section excavation, construction branch hole and the parameters of the belt conveyor, conveying aspects, which could providereferences and experiences for similar tunnel engineering.

**Keywords:** long distance belt machine scum; equipment selection; layout of slag discharging system

XE 二期输水工程线路总长约 148.246 km,其中包含 5 条隧洞,总长 140.771 km。该工程共分为 8 个标段,本文结合第Ⅷ标段具体情况,进行主洞与支洞出渣系统设计和研究。该标段桩号范围为 112+215—148+211 m,总长 35.996 km,其中隧洞进口 50 m 为明挖段、34.751 km 的主洞段(包括 TBM5 洞挖段和钻爆段),其断面型式为圆形,开挖洞径为 7.8 m,采用 TBM 法施工,主要是掘进、支护、出渣三大作业,以及皮带、轨道、通风、供电、照明、供水、排水等延伸及其他辅助作业,一切作业以掘进作业为核心。该标段隧洞沿线布设 5 条施工支洞,支洞总长 2.283 km。纵断面设计为 200 m 长 12.9% 的陡坡 + 20 m 长 3% 的缓坡,综合纵坡 12%。支洞断面型式为城门洞型,陡坡段断面净尺寸 7.0 m × 6.59 m(宽 × 高),缓坡段设置错车道,断面净尺寸 8.8 m × 6.59 m

(宽 × 高),主要采用钻爆法施工,Ⅱ、Ⅲ类围岩采用全断面法,Ⅳ、Ⅴ类围岩采用台阶法。该标段整体平面布置图见图 1。

## 1 出渣方案选择

目前,国内外 TBM 施工出渣方式主要有三类:有轨运输、无轨运输以及连续皮带运输<sup>[1-6]</sup>。

(1) 有轨运输一般指机车牵引矿车(或梭车或斗车)出渣,牵引机车有轨内燃机车、电瓶车及架线式电力机车等。国内早期 TBM 施工中多采用机车牵引矿车出渣,如山西引黄入晋工程、西康线秦岭铁路隧道、桃花铺等工程。电瓶车具有使用灵活无污染等优点,但其电瓶使用寿命短、故障率高、用电效率低、运输成本高、牵引能力不足;架线式电力机车结构简单、工作可靠、维护力方便、无污染,但需架

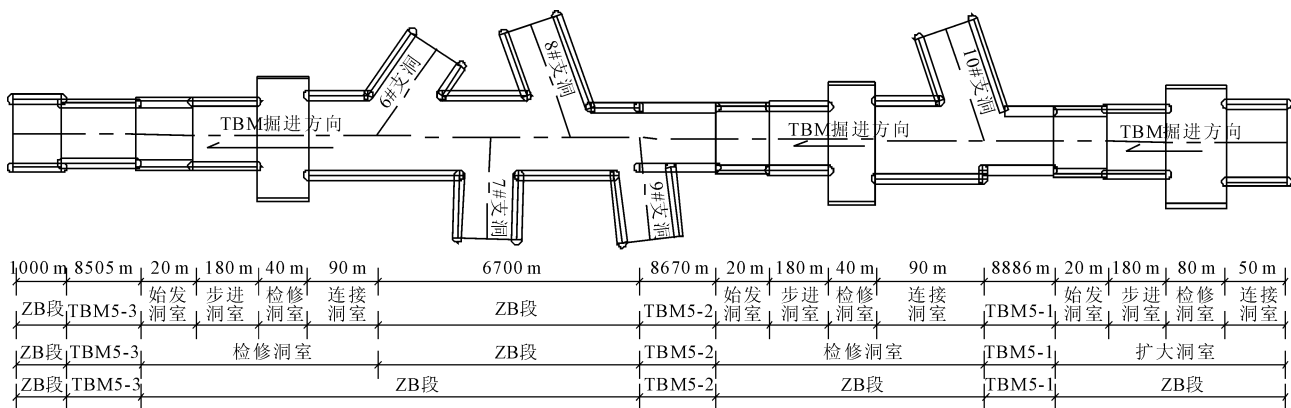


图1 本标段平面布置示意图

线,对作业空间和人员通行有一定影响,且易产生火花,存在安全隐患。上述两种有轨运输,对于长隧洞工程不宜采用。窄轨内燃机车具有牵引力大、运输量大等特点,但污染大、相对其他有轨运输通风费用有所增加,对长隧洞工程而言,它是有轨运输中的首选。

(2) 无轨运输指装岩设备(如后卸式装渣机、立爪式装渣机、铰接式轮胎装载机、短臂液压挖掘机等)装渣,轮胎式运输机械(如自卸汽车、装运机、轮胎式梭车等)出渣。由于无轨运输系统污染严重,通风费用高、装载、回车、会车、避车等附加洞室工程量大,出渣能力有限。

(3) 皮带运输是指连续胶带机,其优点是出渣效率高,污染少、所需的通风费用低,出渣和材料运输为两条线,施工干扰小,缺点是一旦出现故障,出渣系统将失去作用,因此检修、维护时间长。随着近年来连续皮带机技术的发展及其在工程中的成功应用,近期项目如大伙房、兰渝铁路西秦岭线、辽西北等工程,逐渐开始使用连续皮带机出渣。连续皮带机运输系统相对机车牵引矿车系统有以下优点:① 无需等待渣车,使 TBM 获得较高的利用率,掘进速度更快;② 对环境无污染,通风费用相对减少,且可以获得较好的工作环境;③ 出渣线路与材料运输分离,相互干扰小;④ 施工管理简单,减少施工人员数量,降低工作人员劳动强度;⑤ 可以减少道岔设置;⑥ 洞外不需要翻车卸渣机;⑦ 广泛适应于不同洞径的隧道工程,可再利用性更高。

本工程 TBM 施工段落较长,断面大,平均进尺 3.15 m/h,掘进速度快,出渣量大,通过以上分析对比:(1) 有轨、无轨出渣方式与 TBM 掘进速度不相匹配,影响掘进效率;(2) 从经济、技术、安全角度上看,连续皮带机具有运送量大、运距长、安全、环保、效率高、造价低等优点,同时参照国内近年来皮带机

运输系统成功应用的实例,本工程选择连续皮带机出渣。

## 2 皮带输送机出渣设备的选择

### 2.1 TBM 施工段落划分

本标段主洞采用 1 台直径  $\Phi 7.83$  m 敞开式硬岩 TBM 掘进机施工,设备编号 TBM5。根据地形地质及施工分段规划,TBM5 有三个施工段:

第一阶段(TBM5-1):设备从 3# 勘探试验洞运输至安装洞,完成组装、调试,掘进 8 886 m 至 10# 支洞。

第二阶段(TBM5-2):掘进至 10# 施工支洞后,出渣、运输、通风系统转场至 10# 支洞,继续掘进至 9# 施工支洞,间距 8 670 m。

第三阶段(TBM5-3):掘进至 9# 施工支洞后,拆除 TBM 边块等大件,拆除部分分别通过 9# 施工支洞、6# 施工支洞运输至 TBM 第三阶段检修洞室,未拆除部分滑行通过隧洞 6.7 km 软岩段,至 6# 施工支洞检修洞室进行检修组装,出渣、运输、通风转场至 6# 支洞,掘进总长 8 505 m。

根据掘进阶段划分,第一、第二和第三阶段连续皮带机出渣长度分别为 10.226 km、9.000 km 和 8.835 km。

### 2.2 皮带机设备选型

皮带输送系统的输送能力应满足 TBM 最大出渣量的需要。TBM 开挖直径按 7.8 m 计,开挖断面为  $47.76 \text{ m}^2$ ,按照最大掘进速度 6 m/h 计算,每小时出渣  $286.56 \text{ m}^3$ ,岩石密度取  $2.8 \text{ t/m}^3$  时,每小时最大出渣量约为 802.3 t,选取额定输送能力约在 963 t/h,可满足工程需要。

TBM5 连续皮带机参数见表 1,支洞皮带机参数见表 2。

表 1 连续皮带机参数

支撑方式	驱动型式	最大长度(约) /m	驱动功率 /kW	胶带宽度 /mm	胶带运行速度 /(m·s <sup>-1</sup> )	输送能力 /(t·h <sup>-1</sup> )
通过三角架固定在洞侧	变频驱动	10600	1285	1000	3	963

表 2 支洞皮带机参数

支撑方式	驱动型式	最大长度(约) /m	驱动功率 /kW	胶带宽度 /mm	胶带运行速度 /(m·s <sup>-1</sup> )	输送能力 /(t·h <sup>-1</sup> )
利用钢支架固定于支洞底板与洞壁	变频驱动	1000	500	1000	3	963

### 2.3 皮带机性能要求

TBM 施工皮带机出渣系统(含隧洞连续皮带机、支洞皮带机)选用具有在 TBM 长距离施工中的应用的国际知名品牌的全新产品,关键部件和设备(包括但不限于变频器<sup>[7]</sup>、电机、减速器、PLC<sup>[8]</sup>、滚筒等)采用国际知名品牌产品并且是在皮带输送机行业中广泛应用成熟的规格。

(1) 皮带机的输送能力应满足最高掘进速度的需要,并留有余量,以应对突变荷载。

(2) 皮带机出渣系统能与掘进机控制系统互相连接、接口匹配、程序兼容。

(3) 皮带储存机构应该在不影响皮带正常运行的同时尽量扩大储存容量,以扩大掘进机连续掘进的长度。皮带储存机构有效储存能力不小于 500 m。

(4) 皮带机出渣系统具有调速、调向、自动清理、刮渣、防跑偏<sup>[9]</sup>、耐磨、防滑等功能。胶带机控制系统应有故障自动诊断、显示、报警功能。

(5) 选用高强度的胶带,在正常使用情况下,应能够完成全部 TBM 掘进洞段施工的岩渣输送。

(6) 硫化设备、材料与工艺必须先进,既保证接头质量又省时。采用双头硫化,硫化时间控制在 10 h 以内。硫化需要划线、胶带与钢丝绳剥离、铺生胶皮、排列钢丝绳、涂生胶水、覆盖生胶皮、扣压、加热硫化、保温、切边等工艺过程。

(7) 皮带耐磨性能必须绝对可靠,抗划伤且拉伸率低。

(8) 在施工期间,要求皮带输送系统必须满足长时间正常运转的要求。

(9) 连续皮带机、支洞皮带机的相关配件应保持一致、通用。

(10) 张紧装置可根据皮带载荷实时调整张紧力,保持皮带始终处于最佳张紧状态。

(11) 连续皮带机要与 TBM 良好衔接,便于出渣及皮带架延伸。

(12) 每施工段皮带机输送系统由连续皮带机和支洞固定皮带机两部分构成;其中支洞固定皮带机坡度较大(综合纵坡 12.9%),各级皮带机都需要设置急停开关,防止皮带反转,应对突发情况<sup>[10]</sup>。

连续皮带机长度为 10.226 km,采用“首尾驱动”方式,中间无加力站;6# 支洞皮带机长度 0.56 km,10# 支洞皮带机长度 0.71 km,采用首部驱动方式。连续皮带机机头部分设置有驱动装置、清理装置、皮带清洗箱、卸料装置及其他安全检测和感应装置等;连续皮带机机尾部分位于 TBM 后配套上,设置有回程驱动装置、接料装置、皮带延伸站等,紧随 TBM 出渣皮带机卸料口。在连续皮带机机头、机尾附近各布置一个电气控制柜。

## 3 出渣系统布置

皮带机出渣系统流程如下:TBM 开挖石渣料→TBM 主机皮带机→后配套皮带机→连续皮带机→支洞固定皮带机→装至自卸汽车弃置至指定地点<sup>[11]</sup>。

### 3.1 输送系统整体布置

根据本工程项目的实际情况,计划采用一套连续皮带机和一套固定皮带机完成 TBM5 的掘进及出渣任务,即:TBM5-1 段施工时,主洞采用连续皮带机,连续皮带仓布置在 TBM 组装扩大洞室;当 TBM 掘进至 10# 支洞控制区后,在转场时将整个皮带机出渣系统全部转移至 10# 支洞施工段,在 10# 支洞安装一套固定皮带机,继续完成 TBM5-2 段的出渣任务;TBM5-2 段完成后,在转场时将整个皮带机出渣系统全部转移至 6# 支洞施工段,将 10# 支洞段的固定皮带机安装至 6# 支洞,继续完成 TBM5-3 段的出渣任务。连续皮带储存仓安装在检修扩大洞室,在主支洞交叉口设置转渣器,连续皮带安装在主洞区域。出渣皮带机固定支架布置示意图,如图 2、图 3 所示。固定支架采用 Q345 边宽×边宽×边厚=75 mm×50 mm×10 mm 角钢材料制作,其屈服点

为 345 MPa, 抗拉强度约 490 MPa ~ 620 MPa; 主洞连续皮带支架尺寸(竖向 × 水平): 圆形洞段 1.2 m × 1.5 m(见图 2), 马蹄形段 1.5 m × 1.8 m(见图 3); 支架布置间距: 圆形洞段 4.572 m(图 2); 马蹄形段 4 m ~ 5 m(见图 3)。

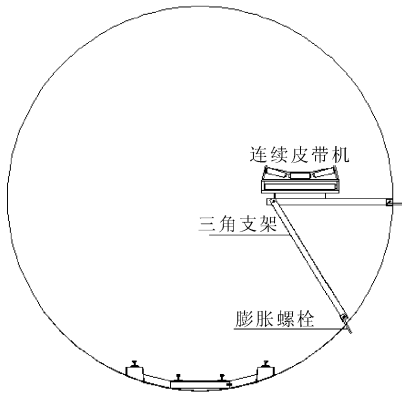


图 2 主洞连续皮带支架布置

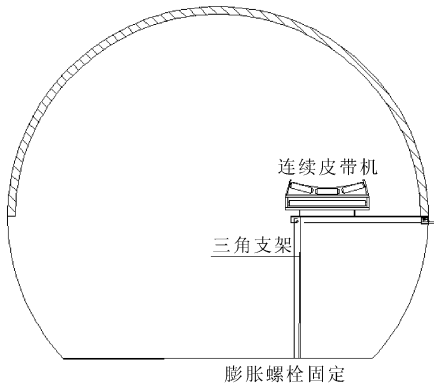


图 3 固定皮带机支架布置

主洞内连续皮带机及固定皮带机位于隧洞右侧, 皮带机系统的布置不会影响 TBM 及其他项目的施工布局、安装和正常工作运行。

转渣固定皮带机接口位于连续皮带机卸料口下方, 在落料点布置有缓冲装置和保护装置等, 机头部分设置有驱动装置、清理装置、卸料装置及其他安全监测和感应装置, 机尾部分设置有回程站、接料装置及其他安全监测和感应装置; 机尾部分设置有回程滚筒、接料装置、缓冲装置等。在洞外固定皮带机驱动站附近布置一个总电气控制柜。

连续皮带机的张紧装置设置在驱动站附近, 为变频控制的卷扬机 + 液压张紧形式, 支洞皮带机的张紧装置布置在洞口附近, 为变频控制的卷扬机形式; 皮带仓设置在主洞洞内, 长宽高约为 100 m × 2.5 m × 3 m, 为 8 层布置方式, 储存能力不小于 500 m<sup>3</sup>; 皮带硫化台设置在皮带仓后方约 20 m 范围内。

### 3.2 TBM5 - 1 段皮带布置

TBM5 - 1 段连续皮带机储存仓、皮带张紧装置和皮带机主驱动装置布置在安装间右侧, 主驱动装置布置在储存仓后部, 皮带张紧装置布置在皮带仓前方。TBM5 - 1 段皮带机布置示意图见图 4、图 5。

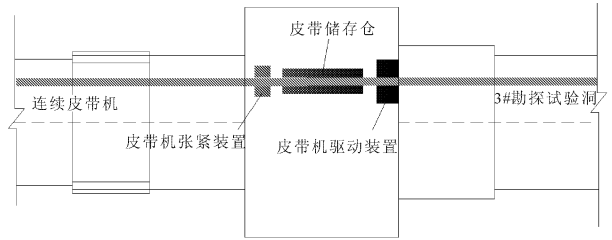


图 4 组装洞皮带机平面布置示意图

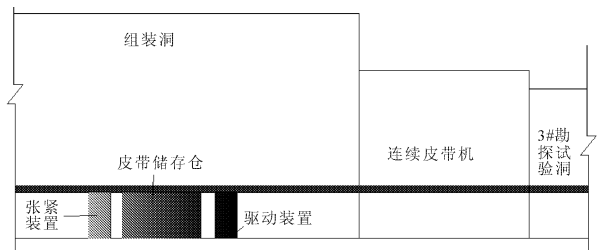


图 5 组装洞皮带机侧面布置示意图

### 3.3 TBM5 - 2 段皮带布置

TBM5 - 2 段连续皮带机与支洞固定皮带机的转渣处布置在 10 # 支洞与过渡段交汇处。皮带张紧装置、皮带驱动装置和皮带储存仓布置在检修洞内。TBM5 - 2 段皮带机布置示意图见图 6、图 7。

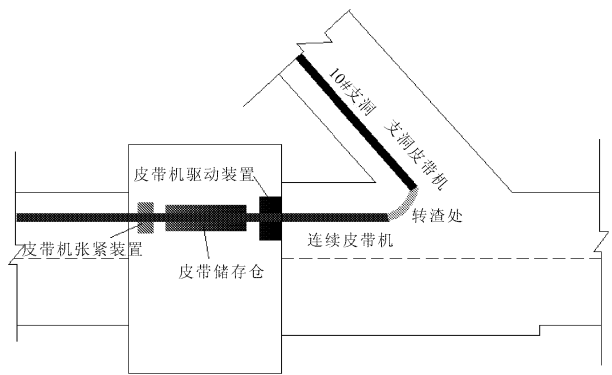


图 6 检修洞皮带机平面布置示意图

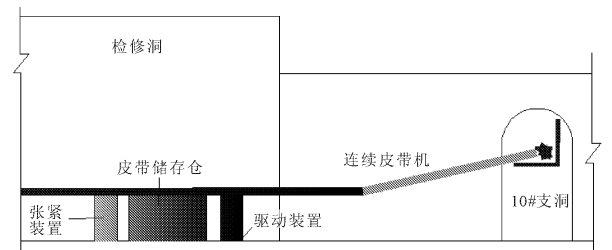


图 7 检修洞皮带机侧面布置示意图

连续皮带机自主驱动系统后部开始逐步抬升,皮带机下部高度从 3 m 提升到 5 m,抬升高度 2 m,抬升段距离 25 m。在 10 # 支洞和 TBM 检修洞交汇设转渣处。

支洞皮带机布置在 10 # 支洞右侧,支洞皮带架距洞底 4.5 m,满足无轨运输限高 4.5 m 要求,布置方式与 3 # 勘探试验洞基本相同。

10 # 支洞同样存在实际施工过程中,皮带机需要保持顺直布置问题。在出渣设计角度前提下,通过两大措施保证输送面平稳顺畅出渣:(1) 皮带下支架与支架的紧密焊接以及螺栓锚固或者由支架长度调整支架竖向高度;(2) 支架与受拉锚杆、受拉链条组合装配并固定在支洞顶部,固定角钢与支洞直墙上的水平固定锚杆接插,水平横撑靠固定螺栓配合调整皮带输送面。因此,皮带机相对支洞底面的高差是不断变化的,但皮带机出渣面平顺,遇到缓坡、陡坡衔接处仍顺接,避免掉带、掉渣。

### 3.4 TBM5-3 段皮带布置

TBM5-3 段连续皮带机的布置与 TBM5-2 段布置方式类似。连续皮带机与支洞固定皮带机的转渣处布置在 6 # 支洞与过渡段交汇处。皮带张紧装置、皮带驱动装置和皮带储存仓布置在检修洞内。

连续皮带机自主驱动系统后部开始逐步抬升,皮带机下部高度从 3 m 提升到 5 m,抬升高度 2 m,抬升段距离 25 m。在 6 # 支洞和 TBM 检修洞交汇设转渣处。

支洞皮带机布置在 6 # 支洞右侧,无轨运输要求及实际施工过程中皮带机处理类似于 10 # 支洞。

## 4 结 论

综上所述,长距离隧洞出渣系统设计主要总结为以下几点:

(1) 根据工程实际情况进行技术、经济分析后选择皮带机数量。

(2) 皮带机的布置不能影响其他项目的布局、安装施工和正常运行。

(3) 利用组装洞室、检修洞室布置皮带机储存仓、皮带张紧装置和皮带机主驱动装置;驱动装置位置(首尾或单头或头中尾)应根据计算确定。

(4) 按开挖断面型式、最大掘进速度、岩石类别等推算出渣量,根据渣料粒径、粒度、传送倾角、提升高度等计算确定输送参数和设备选型。

(5) 保证皮带硫化效果良好;系统性能、维护保养及安全保护均保障到位。

### 参考文献:

- [1] 曹晓平,宋文学,李伟伟. TBM 施工连续皮带机出渣关键技术[J]. 水利水电施工,2014(5):38.
- [2] 李晓勇,赵西安. 旁多水利枢纽灌溉输水洞 TBM 施工出渣方式的对比与选择[J]. 四川水力发电,2014,33(S1):18-19,49.
- [3] 刘志华. 全断面硬岩隧道掘进机及其配套运输设备的选型[J]. 盾构工程,2016,37(7):51-53.
- [4] 韩 兵. 煤矿斜井隧道连续皮带机出渣系统选型配置[J]. 施工技术,2016,45(21):107-110.
- [5] 齐梦学,邓 勇,王雁军,等. 敞开式 TBM 施工出渣方式对比分析[J]. 工程机械,2009,40(9):52-56.
- [6] 曾文字. 煤矿斜井连续皮带出渣机关键技术研究[D]. 成都:西南交通大学,2017:1-4.
- [7] 蒲继承. 长距离大倾角主斜井带式输送机技术方案的制定[J]. 煤矿机械,2015,36(5):119-122.
- [8] 张立勋,孙 伟. 连续皮带机控制系统的设计及应用[J]. 隧道建设,2017,37(6):769.
- [9] 左宏斌. 煤矿皮带运输机皮带跑偏原因及对策[J]. 机械管理开发,2017(6):49.
- [10] 谢建武. 高强度、大坡度隧洞施工运输系统设计[J]. 山西水利科技,2015(1):9-10.
- [11] 陈 桐,孙旭光,张秋实. 敞开式 TBM 特长隧洞连续出渣方案[J]. 云南水力发电,2016,32(1):101-103.
- [12] 潘春硕. 引水隧洞斜井出渣方案选择及应用[J]. 甘肃水利水电技术,2011,47(12):58.