

超大直径泥水平衡盾构机施工造价测算方法*

陈天宇

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 430063, 武汉//高级工程师)

摘要 以典型水下盾构施工费用为依据,结合施工工序和现有 $\phi 11.0\text{ m}$ 级和 $\phi 15.5\text{ m}$ 级盾构机掘进费用定额,同时考虑盾构机在不同地层中掘进的材料消耗量,测算了超大直径泥水平衡盾构机的掘进费用。考虑影响盾构机折旧的主要因素,采用双倍余额递减数学模型,提出了一种超大直径泥水平衡盾构机加速折旧的计算方法。修正现有的泥浆处理定额,针对掘进费用、盾构折旧费用、泥浆处理费用,提出 $\phi 18\text{ m}$ 级超大直径泥水平衡盾构机施工造价的测算公式,弥补了现行标准的不足。

关键词 泥水平衡盾构机; 施工造价; 测算方法; 超大直径

中图分类号 TU723.3; U455.43

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.10.034

Calculation Method of Construction Cost for Super-large Diameter Slurry-balanced Shield Machine

CHEN Tianyu

Abstract Taking the typical under-water shield construction cost as reference, considering the construction sequence and the cost quota of the existing $\phi 11.0\text{ m}$ and $\phi 15.5\text{ m}$ shield machine tunneling, as well as the material consumption in different strata, the estimation construction cost for super-large diameter slurry-balanced shield machine is calculated. On account of the major variables influencing shield depreciation, the mathematical model of double declining balance is adopted to propose the calculation method of accelerated depreciation for super-large diameter slurry-balanced shield machine. The current quota of slurry treatment is revised, in terms of tunneling cost, shield structure depreciation cost and mud treatment cost, the calculation method of construction cost for the $\phi 18.0\text{ m}$ level super-large slurry-balanced shield machine is proposed, so as to complement the deficiency of current standard.

Key words slurry-balanced shield machine; construction cost; calculation method; super-large diameter

Author's address China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., 430063, Wuhan, China

我国越江交通工程建设中,超大直径盾构隧道工程以其独特的技术优势得到了广泛应用^[1-2]。目前,上海、南京、武汉等城市多座过江大直径隧道已贯通,且在建或即将建设的越江市政、铁路、公路大直径盾构隧道越来越多。盾构机直径已逐步从 5.92 m 发展至 15.43 m ,甚至更大。如:香港屯门—赤鱲角公路隧道直径达到 17.60 m ;西雅图SR99隧道直径达到 17.45 m ,深圳荷坳隧道直径达到 18.10 m 。超大直径盾构法施工技术已日渐成熟,但在施工造价估算、概预算、工程决算等工程造价方面的理论却滞后于工程实践^[3]。根据CJJ 221—2015《城市地下道路工程设计规范》^[4],城市地下隧道工程大多为单洞三车道的隧道,其断面尺寸接近 15 m 左右。可是,目前国家定额体系落后于施工技术发展的步伐,超大直径盾构机掘进定额发布不完善。在市政定额体系中,仅有部分省市先后发布了 $\phi 11.0\text{ m}$ 级和 $\phi 15.5\text{ m}$ 级的盾构隧道施工定额;在铁路施工定额体系中,《铁路工程预算定额》^[5]仅有 $\phi 12\text{ m}$ 级和 $\phi 13\text{ m}$ 级盾构隧道的补充定额;在公路施工定额体系中^[6],无相关盾构机定额。可见,现有规范定额难以适应超大直径泥水平衡盾构隧道工程实际造价,不利于盾构隧道技术的发展。

已有大量学者对盾构法隧道掘进的工程造价问题进行了相关研究,但主要是针对某个工程简单分析其工程消耗量,而且盾构直径大多为 11 m 级和 15 m 级。目前并未有超大直径盾构机掘进定额的相关研究成果。对于盾构机的折旧计算方法,现阶段通常仍采用平均工作量法,但该理论计算结果与实际往往相差较大。此外,通过实际施工发现,现有泥水平衡盾构机的泥浆处理定额存在一定缺陷,亟需修正。

因此,为解决上述存在的工程问题和现阶段研究的不足,结合目前最新的 $\phi 11.0\text{ m}$ 级和 $\phi 15.5$

* 国家重点研发计划项目(2018YFC0407006)

m 级盾构机掘进定额水平和施工技术水平,开展超大直径盾构机掘进费用研究,提出 ϕ 18 m 级超大直径盾构机掘进定额消耗量的计算方法,并且分析了超大直径盾构机在不同地层(软质岩、硬质岩和软硬不均质岩)中掘进的损耗量。考虑盾构机折旧的主要影响因素,通过确定影响因子的定量指标,采用双倍余额递减数学计算模型,提出一种适用于 ϕ 18 m 级超大直径盾构机加速折旧的计算方法,改进了 ϕ 11.0 m 级和 ϕ 15.5 m 级盾构机常用的平均工作量计算方法。同时,考虑到泥水处理费用定额的缺陷,根据实际泥水处理消耗量对泥水处理定额水平进行了修正。针对大型泥水平衡盾构机的掘进费用、盾构折旧费用、泥浆处理费用,提出 ϕ 18 m 级超大直径盾构机施工造价的合理测算方式,可为工程投资提供准确的造价测算,从而有效控制了工程成本,创造了经济效益,推动了超大直径盾构隧道施工定额的发展水平,具有重要的理论意义和工程实践价值。

1 盾构机掘进施工工序及费用组成

盾构法是暗挖法施工中的一种全机械化施工方法,具有掘进速度快、安全性和全自动化程度高、不受气候条件影响的优势,得到了广泛应用。其施

工工序为刀盘驱动、建立泥浆循环、启动推进油缸、刀盘开挖、缩回顶进油缸、管片安装等,如图 1 所示。

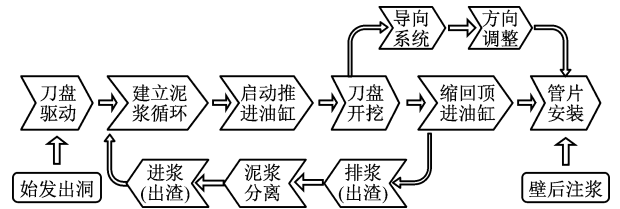


图 1 盾构掘进施工工序

Fig. 1 Construction sequence of shield tunneling

根据泥水平衡盾构机掘进的施工工序,可以将其主要费用构成分为:掘进出渣、泥浆处理、始发加固、管片衬砌及安装和壁后注浆 5 个部分,其中始发加固、管片衬砌及安装等费用的定额水平已很成熟。但是,掘进出渣、泥浆处理等工序的定额有待进一步研究。分别对南京长江隧道、杭州钱江隧道、扬州瘦西湖隧道、上海虹梅南路隧道、南京纬三路过江隧道和上海长江路隧道等 6 个超大直径泥水平衡盾构隧道掘进工程设计投资与实际投资取平均值,然后将该费用分成上述 5 个部分进行误差频数统计,发现掘进、出渣和泥浆处理的投资误差分别占投资总误差的 43.94% 和 32.88%,见表 1。

表 1 6 个超大直径泥水平衡盾构隧道工程的投资误差统计

Tab. 1 Statistics of investment error of 6 super-large diameter slurry-balanced shield tunnel projects

施工工序	投资误差/万元	施工工序投资误差与投资总误差的比值/%	施工工序投资误差累计占比/%
掘进及出渣	6 243.30	43.94	43.94
泥浆处理	4 672.13	32.88	76.82
始发加固	1 901.29	13.38	90.21
管片衬砌及安装	760.63	5.35	95.56
壁后注浆	630.07	4.43	100.00

注:表中数据为 6 个隧道工程的平均值。

造成盾构机投资误差较大的主要原因,一方面,是由于盾构机掘进定额与实际的误差较大:

1) 目前,盾构机掘进采用的主要定额为 ϕ 11.0 m 级和 ϕ 15.5 m 级盾构机定额,如《山东省市政工程消耗量定额(SDA-1-31—2016)》^[7]《湖北省市政工程消耗量定额及全费用基价表》^[8]《市政工程消耗量定额(ZYA1-31—2015)》^[9]等。全国市政定额中 ϕ 15 m 级左右盾构机的定额因编制时样本过少,使得掘进定额的消耗量过大而偏离实际成本。尽管各省份的 ϕ 11.0 m 级和 ϕ 15.5 m 级盾构机定额

水平很高,且广泛应用于目前建设中的隧道工程,但并不适用于更大断面的 ϕ 18 m 级公路市政盾构隧道工程。

2) 盾构机穿越不同岩层下的掘进费用差异较大。现阶段发布的盾构机掘进定额未区分软岩、软硬不均岩石、硬岩等不同岩层。实际上盾构机在不同岩层中的掘进速度和刀具损耗亦存在较大差异。

3) 盾构机折旧费用误差大。对于超大型盾构机,目前并无统一折旧的计算方法。若按小型盾构机以折旧费形式计人工单价,则存在初期投入费用

高、后期项目不明确、日常维护成本高等问题。

另一方面,主要由于泥浆处理费用与实际存在一定偏差,影响该费用的主要原因是未合理考虑泥浆处理消耗量及单价问题。

2 盾构机掘进定额的理论分析

2.1 超大直径盾构机穿越软质岩层

大直径盾构机穿越均匀软质岩层时,据盾构机的工作原理,盾构机驱动的扭矩大小同其直径的关系类似于三次方关系,盾构机的泥水管路随其直径增大呈线性增加。根据目前已批复工程的定额组价情况,如武汉长江公铁隧道、和燕路过江通道、上海长江路隧道等盾构工程在均匀岩层中, ϕ 15.5 m 级盾构机定额下的掘进消耗量与 ϕ 11.0 m 级盾构机定额下的掘进消耗量的比值,是两者直径比与面积比之和的平均值。据此,可推导出 ϕ 18 m 级超大

直径盾构机定额的掘进消耗量:

$$C_{18} = K_1 C_{15.5} \tag{1}$$
$$K_1 = \left(\frac{D_1}{D_2} + \frac{\pi D_1^2}{\pi D_2^2} \right) \tag{2}$$

式中:

C_{18} —— ϕ 18 m 级盾构机定额的掘进消耗量;

$C_{15.5}$ —— ϕ 15.5 m 级盾构机定额的掘进消耗量;

D_1 —— ϕ 18 m 级盾构机的外径;

D_2 —— ϕ 15.5 m 级盾构机的外径;

K_1 ——相关系数。

本文统计了多个盾构工程的掘进单价,如表 2 所示。由表 2 可见,对比 ϕ 11.0 m 级盾构机与 ϕ 15.5 m 级盾构机的综合掘进单价,两者比值与式(1)中的 K_1 基本一致,表明式(1)可以准确反映超大直径盾构机的掘进消耗量。

表 2 各盾构工程掘进单价统计表

Tab.2 Statistics of tunneling unit price for each shield project

工程名称	盾构管片 外径/m	盾构段综合 单价/(元/m)	盾构机摊销 费/(元/m)	盾构机单价/ (亿元/台)	盾构机掘进摊 销里程/km	盾构机类型
长株潭城际铁路(湘盾盾构区间)	9.0	71 319	15 188	1.00	8	土压平衡式盾构机
广州地铁广佛环线(广州南站至白云机场)	8.8	76 745	10 000	2.00	10	土压-泥水双模盾构机
杭州下沙路隧道工程	14.5	290 000	45 600	3.00	8	泥水平衡盾构机
杭州望江路过江隧道	11.3	175 344	25 000	1.95	8	泥水平衡盾构机
南京和燕路过江通道	14.5	365 417	69 576	3.50	8	泥水平衡盾构机
南京市长江第五大桥夹江隧道	15.0	352 532	64 683	3.55	8	泥水平衡盾构机
济南黄河隧道	15.2	435 819	79 413	3.75	8	泥水平衡盾构机
杭州艮山东路过江隧道	14.5	256 719	34 230	3.00	8	泥水平衡盾构机
苏通 GIL 综合管廊	11.6	265 546	17 372	2.70	8	泥水平衡盾构机
芜湖城南过江隧道	14.5	270 101	56 623	3.50	8	泥水平衡盾构机

注:GIL 为气体绝缘金属封闭输电线路。

2.2 超大直径盾构机穿越硬质岩层和软硬不均质岩层

为更准确地计算超大直径盾构掘进定额,还需要考虑盾构掘进时穿越的地层,在不同围岩下的盾构掘进定额消耗量差别较大。超大直径盾构机掘进硬质岩和软硬不均质岩时,为维护盾构机各个系统的正常工作,盾构刀具更换频繁,滚刀刀圈及刀体、齿刀的消耗量较大,增加了刀具的损耗和机械工作量,导致掘进速度降低。以南京长江隧道、广深港高速铁路狮子洋隧道和武汉长江公铁隧道为

工程案例,其超大直径盾构机在不同岩层中的掘进速度和刀具损耗对比,见表 3。

为合理计算盾构机的掘进费用,穿越硬质岩和软硬不均质岩时,在扩大消耗量定额后,根据掘进的平均速度,增加盾构机工作量。

3 盾构机折旧费用

大型盾构机采购费用庞大,其使用寿命均超出一项工程的建设周期,从而形成了在一个工程中盾构机的分摊费用及其计列问题。盾构机费用无论

表 3 超大直径盾构机在不同围岩中的掘进速度和刀具损耗对比

Tab.3 Comparison of tunneling velocity and cutter tool wear for super-large diameter shield machine in various surrounding rock conditions

名称	软质岩	硬质岩	软硬不均质岩
狮子洋隧道 (广深港高速铁路)	掘进速度为 200 m/月	掘进速度为 110 m/月,滚刀、齿刀较软质岩 分别增加 7.52 把/10 m、1.82 把/10 m	掘进速度为 85 m/月,滚刀、齿刀较软质岩 分别增加 10.15 把/10 m、1.82 把/10 m
南京长江隧道	掘进速度为 180 m/月	掘进速度为 100 m/月,滚刀、齿刀较软质岩 分别增加 7.00 把/10 m、1.82 把/10 m	掘进速度为 80 m/月,滚刀、齿刀较软质岩 分别增加 10.15 把/10 m、1.82 把/10 m
武汉长江公铁隧道	掘进速度为 190 m/月	掘进速度为 80 m/月,滚刀、齿刀较软质岩 分别增加 10.15 把/10 m、1.82 把/10 m	掘进速度为 200 m/月,滚刀、齿刀较软质岩 分别增加 10.15 把/10 m、1.82 把/10 m

由业主还是施工方独自承担,其都将面临极大的资金压力以及续接项目的风险。因此,开展大型盾构机折旧费用的研究,合理分摊费用,有利于市场竞争的公平性,从而形成良好市场环境,亦为更好地控制工程投资起到积极作用。 ϕ 15 m 级超大直径盾构机的采购费用如表 4 所示。

表 4 典型项目 ϕ 15 m 级盾构机购置价格汇总

Tab.4 Summary of purchase prices for ϕ 15 m shield machine in typical projects

项目名称	盾构机外径/mm	制造公司	购置价/万元	备注
上海上中路隧道	14 870	法国 NFM 技术有限公司	16 867	进口二手盾构,国内改制
长沙黄花国际机场磁浮线盾构隧道	14 880	日本石川岛株式会社	27 000	合作制造
上海长江隧道	15 430			
杭州钱江隧道	15 430	海瑞克集团	15 987	业主二手盾构转让,国内改制
上海虹梅南路隧道	14 900	海瑞克集团	28 538	合作制造
南京长江隧道	14 900	日本石川岛株式会社	24 578	
扬州瘦西湖隧道	14 900	海瑞克集团	27 469	
南京纬三路过江隧道	14 900	海瑞克集团	30 487	
上海长江路隧道	15 430	海瑞克集团	26 354	

目前,水下盾构隧道工程数量呈爆发型增长,结合近期竣工项目及即将建设的水下盾构隧道, ϕ 11 m 级和 ϕ 15 m 级的盾构隧道均采用平均工作量法进行折旧:

$$Q_w = P_a(1 - r)/Q_s \tag{3}$$

式中:

- Q_w ——每项工作量的折旧额;
- Q_s ——预计总工作量;
- P_a ——固定资产原价;
- r ——残值率。

实际工程中,盾构机掘进单位步距下的平均折旧费、平均维护费及其两者总费用与掘进长度呈非线性关系(见图 2)。因此,现阶段常用的平均工作量法显然与实际不符,该问题对于超大直径盾构隧道工程尤为突出。为解决上述问题,考虑盾构设备折旧的主要影响因子,通过确定其定量指标,基于双倍余额递减形式的加速折旧法数学计算模型,提

出一种盾构机加速折旧的计算方法。

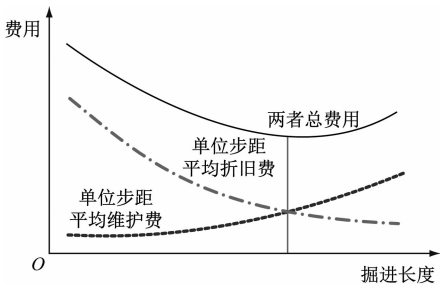


图 2 盾构机折旧走势图

Fig.2 Tendency diagram of shield machine depreciation

根据以上影响因子,基于双倍余额递减原理,确定折旧模型。根据已竣工隧道项目的调查数据进行测算,以 0.5 km 为单位步距确定折旧率,计算得出单位步距理论折旧率和不同掘进长度下应计提的折旧额。如图 3 所示,单位步距折旧额和折旧率是递减的,满足双倍余额递减要求。

$$F_0 = FRM \tag{4}$$

$$R = (P_{rc} - N_{rc})/N_{rc} \tag{5}$$

式中：

- F_0 ——调整后的单位长度折旧率；
- F ——折旧率, $F = 2 \times 0.5/L$, L 为掘进长度(以 0.5 km 为步距)；
- R ——机械功能性贬值系数；
- M ——机械利用系数；
- P_{rc} ——复原重置成本；
- N_{rc} ——更新重置成本, 根据经验取 0.6 ~ 0.7, 且随工作量的减小而减小。

则 D_j 的计算公式为：

$$D_j = F_{0,j} \left(P - \sum_{i=0.5}^{j-0.5} D_i \right) = \frac{R_j M_j}{L} \left(P - \sum_{i=0.5}^{j-0.5} D_i \right) \tag{6}$$

式中：

- D_j ——第 j 步距的折旧额(以 0.5 km 为步距)；
- $F_{0,j}$ ——第 j 步距的调整折旧率；
- R_j ——第 j 步距的机械功能性贬值系数；
- M_j ——第 j 步距的机械利用系数；
- D_i ——掘进长度的折旧额；
- P ——机械设备购置价。

新税法不再对固定资产残值率的比率做出硬性规定。根据《全国统一施工机械台班费用编制规则》^[10] 以及经验数据, 盾构机残值率 C 一般取 5%。通过以上措施, 盾构机折旧费误差率降低至 5% 以

下, 可见所采用的折旧计算方法能够满足要求。

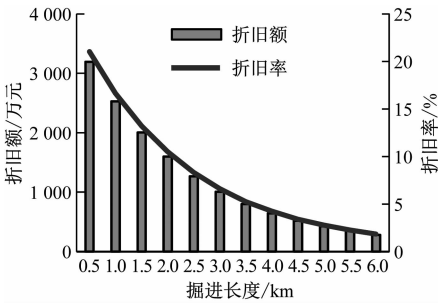


图3 盾构机折旧额随掘进长度变化曲线

Fig. 3 Curve of shield machine depreciation changing with excavation length

4 泥浆处理费用

目前,我国各省份的盾构机掘进定额中均未含废浆量的处理,使得既有定额计算存在一定缺陷。现阶段仅有的隧道泥浆分析定额为铁总建设[2017] 324 号《铁路工程补充预算定额(第一册)》^[11],其泥浆调制、泥浆分离、泥浆压滤等定额水平偏高,单价达 120 元/m³,而实际调查单价为 45 元/m³。泥浆处理主要分为泥浆调制与泥浆分离和压滤两部分,目前,两个项目均主要采用板式压滤。其优点为处理较彻底,且处理后的干渣可直接被运输离开;其缺点为单台设备费用较高(180 万 ~ 200 万元/台)、生石灰的需求量大、废水排放场所选择困难等。综合目前施工项目的实际使用情况,在定额基础上泥水平衡盾构机每单位泥浆(10 m³)过滤处理所增加各项目的消耗量及费用见表 5。

表5 在定额基础上泥水平衡盾构机每单位泥浆(10 m³)过滤处理所增加各项目的消耗量及费用
Tab.5 Consumption volume and cost of all the added items for slurry-balanced shield machine filtering treatment per unit(10 m³) based on quota

项目	单价	消耗量	费用/元
人工(泥浆过滤)	25.82 元/工日	0.15 工日	3.87
法兰浮球阀(DN 50 mm)	147.88 元/个	0.02 个	2.95
消防水龙带棉纱	30.36 元/m	0.40 m	12.14
消防水龙带接口(DN 50 mm)	26.68 元/副	0.02 副	0.53
消防水枪(DN 50 mm)	32.20 元/个	0.02 个	0.64
水	0.38 元/t	6.54 t	2.48
单级离心清水泵	37.99 元/台班	0.26 台班	9.95
人工(泥浆压滤)	135.00 元/工日	0.167 工日	22.55
生石灰	0.32 元/kg	20.00 kg	6.40
粉煤灰	0.15 元/kg	28.00 kg	4.20
300#聚酰胺	16.54 元/kg	7.60 kg	125.70
其他材料费	1.00 元/工日	2.00 工日	2.00
XYMZG400/1500-UB 型压滤机	430.00 元/台班	0.40 台班	172.00
轮胎式装载机	975.00 元/台班	0.10 台班	97.50

注:DN 为公称直径;单级离心清水泵的最大流量为 12.5 m³/h,最大扬程为 32 m;轮胎式装载机的装载量为 3.5 m³。

综上所述,将分析结果应用于济南黄河隧道工程,其盾构段初步设计的批复费用为 19.53 亿元,而对比《市政工程消耗量定额(第四册隧道工程):ZYA 1-31—2015》^[9] 测算的单价 22.65 亿元,减少幅度约为 11.35%。经跟踪招标单价,其招标总价为 19.35 亿元,这表明该方法适应于市场需要,且合理测算定额消耗量,可适当降低盾构实施单价。

5 测算效果对比分析

采用改进后的掘进费用、盾构折旧费用、泥水处理费用的测算方式,分别计算南京长江隧道、钱江隧道、杭州瘦西湖隧道、虹梅南路隧道、南京纬三路过江隧道和长江路隧道等 6 个超大直径泥水平衡盾构隧道掘进工程投资,然后取其平均值。将 6 个

超大直径泥水平衡盾构隧道掘进工程的投资平均值,分为始发加固费用、掘进及出渣费用、泥水处理费用、管片衬砌与安装费用、壁后注浆费用和总费用等 6 个部分,并与原测算方式下的投资进行对比,见表 6。由表 6 可见,修正后的掘进及出渣和泥浆处理两部分的投资误差明显下降,其中,掘进及出渣部分误差率由原来的 5.91% 降至 1.6%,泥浆处理部分误差率由原来的 9.27% 降至 2.76%。根据建立的超大直径盾构机掘进定额、合理折旧计算模型和准确的泥浆消耗量计算方法,进行超大直径盾构机施工造价测算,掘进工程合计投资误差率降低至 3.03%。提高了超大直径泥水盾构隧道掘进工程计量计价标准化和精细化程度,实现了工程投资的合理控制。

表 6 改进测算方式与原测算方式投资误差率对比

项目	实际投资/万元		设计投资/万元		投资误差/万元		投资误差率/%	
	原测算方式	改进的测算方式	原测算方式	改进的测算方式	原测算方式	改进的测算方式	原测算方式	改进的测算方式
始发加固	17 892.48	17 892.48	19 793.77	19 793.77	1 901.29	1 901.29	9.61	9.61
掘进及出渣	99 402.67	99 402.67	105 645.97	101 022.23	6 243.30	1 619.56	5.91	1.60
泥浆处理	45 725.23	45 725.23	50 397.36	47 021.46	4 672.13	1 296.23	9.27	2.76
管片衬砌与安装	31 808.86	31 808.86	32 569.48	32 569.48	760.63	760.63	2.34	2.34
壁后注浆	3 976.11	3 976.11	4 606.18	4 606.18	630.07	630.07	13.68	13.68
合计	198 805.35	198 805.35	213 012.76	205 013.12	14 207.42	6 207.78	6.67	3.03

利用改进后的超大直径泥水平衡盾构机施工造价的测算方式,按施工工序测算了常德沅江隧道、武汉长江公铁隧道、杭州青年路—博奥路过江隧道、南京梅子洲过江通道和上海北横通道项目,分别对其掘进工程进行了投资误差分析,如图 4 所

示。由图 4 可见,改进的测算方式投资误差率均在 3% 左右,明显低于原测算方式的 12.5% ~ 14.1%,验证了提出的超大直径泥水平衡盾构机施工造价测算方式的合理性。

6 结语

1) 在相对成熟的 $\phi 15.5\text{ m}$ 级盾构机定额的基础上,推导出均匀岩层中 $\phi 18\text{ m}$ 级盾构机定额下每延米的综合单价。为合理计算盾构机掘进费用,在硬质岩和软硬不均质岩的条件下扩大消耗量定额后,根据平均掘进速度增加盾构机工作量。

2) 考虑影响盾构机定额的主要因素,以 0.5 km 为单位步距确定盾构机折旧率,采用双倍余额递减数学模型,计算得出的单位步距理论折旧率在不同掘进长度下应计提折旧额,提出一种采用分类变率改进双倍余额递减法的泥水平衡盾构机折旧计算公式。

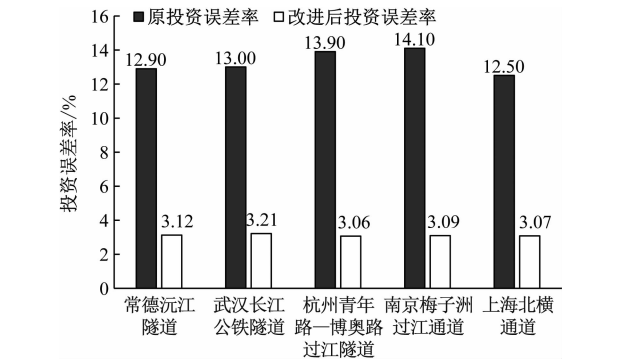


图 4 改进的测算方式与原测算方式投资误差率对比
Fig. 4 Comparison of investment error rates between revised calculation method and original calculation method

3) 对于泥水平衡盾构机泥浆处理阶段,现有的定额水平存在一定缺陷,结合实际工程经验形成了符合实际的泥浆消耗量定额,修正后其测算单价与招标总价基本一致。

4) 通过实际工程案例进行验证,采用改进的测算方式计算得出的掘进及出渣投资误差率由原来的 5.91% 降至 1.60%,泥浆处理部分的投资误差率由原来的 9.27% 降至 2.76%。通过对实际工程进行测算验证,盾构掘进工程投资总误差率仅为 3% 左右。

参考文献

- [1] 贾连辉,李太运. 超大直径盾构管片拼装机关键技术[J]. 浙江大学学报(工学版),2020(4):816.
JIA Lianhui, LI Taiyun. Key technologies of segment erector for super-large shield machine[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2020(4): 816.
- [2] 李亦. 跨坐式单轨工程造价指标体系构建与分析[J]. 城市轨道交通研究,2018(8):36.
LI Yi. Construction and analysis of the cost index system for straddle monorail transit[J]. Urban Mass Transit, 2018(8): 36.
- [3] 黄永亮,哈月亭,门燕青. 济南轨道交通 1 号线区间盾构施工效能分析[J]. 城市轨道交通研究,2020(6):40.
HUANG Yongliang, HA Yueting, MEN Yanqing. Construction efficiency analysis of shield tunnel section on Rail Transit Line 1 in Jinan City[J]. Urban Mass Transit, 2020(6): 40.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市地下道路工程设计规范:CJJ 221—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of urban underground road engineering[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2015.
- [5] 国家铁路局. 铁路工程预算定额(第三册 隧道工程)[M]. 北京:中国铁道出版社,2017.
National Railway Administration of the People's Republic of China. Railway engineering budget quota (volume 3 tunnel engineering)[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.
- [6] 中华人民共和国交通部. 公路工程预算定额:JTG 3832—2018[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
Ministry of Transport of the People's Republic of China. Highway engineering budget quota[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2018.
- [7] 山东省住房和城乡建设厅. 山东省市政工程消耗量定额(SDA-1-31—2016)[M]. 北京:中国计划出版社,2016.
Department of Housing and Urban-Rural Development of Shandong Province. Shandong Province municipal engineering consumption quota (SDA-1-31—2016)[M]. Beijing: China Planning Press, 2016.
- [8] 湖北省建设工程标准定额管理总站. 湖北省市政工程消耗量定额及全费用基价表[M]. 武汉:长江出版社,2018.
Hubei Province Construction Engineering Standard Quota Management General Station. Hubei Province municipal engineering consumption quota and full cost base price table[M]. Wuhan: Changjiang Press, 2018.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 市政工程消耗量定额(第四册 隧道工程):ZYA1-31—2015[S]. 北京:中国计划出版社,2015.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Municipal engineering consumption quota (volume 4 tunnel engineering)[S]. Beijing: China Planning Press, 2015.
- [10] 中国铁路总公司. 铁路工程补充预算定额(第一册):铁总建设[2017]324 号[S]. 北京:中国铁道出版社,2017.
China Railway. Railway engineering supplementary budget quota: TZJS [2017] No. 324[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2017.
- [11] 天津市建设管理委员会. 全国统一施工机械台班费用编制规则[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001.
Tianjin Construction Management Committee. National unified rules for compiling costs for construction machinery shifts[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.

(收稿日期:2020-08-03)

(上接第 179 页)

- [4] 单宁. 上海轨道交通 1 号线莘庄站运营配线能力提升改造研究[J]. 隧道与轨道交通,2019(2):31.
SHAN Ning. Study on improvement of line allocation and operation capacity of Xinzhuang Station of Shanghai Rail Transit Line 1[J]. Tunnel and Rail Transit, 2019(2): 31.
- [5] 钱蔚. 上海轨道交通 1 号线折返线优化设计方案研究[J]. 隧道与轨道交通,2019(3):49.
QIAN Wei. Study on design optimization of turn-back track of Shanghai Rail Transit Line 1[J]. Tunnel and Rail Transit, 2019(3): 49.
- [6] 岳严良. 城市轨道交通既有有线设备设施改造对正常运营的影响及控制措施研究[C]//中城科数(北京)智慧城市规划设计研究中心. 第四届全国智慧城市与轨道交通学术会议暨轨道交通学组年会论文集. 天津:中央民族大学出版社,2017:231.

YUE Yanliang. Study on the influence and control measures of the reconstruction of existing equipment and facilities on the normal operation of urban rail transit[C]//Smart City Planning & Design Research Institute. Proceedings of the 4th national smart city and rail transit academic conference and annual conference of rail transit academic group. Tianjin: Central University of Nationalities Press, 2017:231.

(收稿日期:2020-07-20)