“一洞双机”TBM 组装洞结构形式优化分析与探讨

杨 光

(中铁隧道股份有限公司, 河南 郑州 450001)

摘要: 北疆供水 2 期工程某标段采用“一洞双机”的 TBM 施工组织模式,即 2 台 TBM 的组装及掘进施工均通过同一个组装洞进行,这对组装洞的结构形式提出了新的要求。为便于 TBM 组装及快速掘进施工,采用工程类比与数值计算相结合的方法,首先,从 2 台 TBM 同时组装与快速掘进施工等需求出发,分析原组装洞设计形式的缺陷;然后,提出优化方案,并对结构变化较大的部位(主支洞交叉口处)进行结构受力验算,确保结构稳定。按照优化方案修建的 TBM 组装洞完成了 2 台设备的同时组装任务,并在后期掘进施工中初步达到了连续、快速掘进的目标,缩短了工期。

关键词: 引水隧洞; TBM; 一洞双机; 组装洞; 结构形式

DOI: 10.3973/j.issn.2096-4498.2019.07.013　　**文章编号**: 2096-4498(2019)07-1158-07

中图分类号: U 45　　**文献标志码**: A　　**开放科学(资源服务)标识码(OSID)**:

扫二维码听语音
与作者在线交流

Optimization of Structure Form of an Assembly Tunnel for Two TBMs

YANG Guang

(*China Railway Tunnel Stock Co., Ltd., Zhengzhou* 450001, *Henan*, *China*)

Abstract: The TBM construction organization mode of one tunnel for two TBMs, i. e. the assembly and excavation of two TBMs carried out in a same tunnel, is adopted in a section of the second phase of water diversion project in North Xinjiang. In order to realize simultaneous assembly of 2 TBMs and rapid excavation, the combination method of engineering analogy and numerical calculation is adopted, the defects of original design form of assembly tunnel are analyzed, an optimization scheme is proposed, and the structural stress at the intersection of the main branch, where the structure has been changed lot, is calculated to ensure structural stability. The simultaneous assembly of 2 TBMs in optimized TBM assembly tunnel has been realized, rapid excavation has been achieved, and the construction schedule has been shortened.

Keywords: water diversion tunnel; TBM; one tunnel for two TBMs; TBM assembly tunnel; structure form

0 引言

目前,世界各国已经在交通运输、水利水电及城市排污等领域建成多条长度超过 10 km 的长大隧道,且随着隧道施工技术的不断发展,超长、特长隧道工程将不断涌现。由于 TBM 的安全、高效、环保等特点[1],其已被广泛用于超长、特长隧道工程施工中[2-3],如已建成的莱索托南水北调工程[4]、英吉利海峡隧道[5]、Vereina 铁路隧道、阿尔卑斯山铁路隧道[6-8]等。

同时,随着各超级隧道工程的陆续上马,为了缩短工期、加大建设力度,TBM 施工也已由 1 台 TBM 独头施工或者 2 台 TBM 相向施工向多台 TBM 交接施工转变[9]。由此,也出现了“一洞双机”的特殊施工组织形式,即 2 台 TBM 的前期组装及后期掘进施工均通过同一个组装洞进行。

TBM 组装洞作为 TBM 前期组装及后期施工的重要功能洞室,对于各类 TBM 隧道工程,其设计和施工的合理性直接关系到整个工程的施工进度、施工安全及施工成本。采用洞内组装的 TBM 隧道工程,多为 1 个组装洞配套 1 台 TBM 组织施工,例如引汉济渭工程秦岭隧洞[10]、大伙房输水隧洞工程[11]、锦屏二级水电站引水隧洞工程[12-13]、引松供水工程[14]等。“一洞双机”的 TBM 施工组织模式还尚未出现过。本文所依托的北疆供水 2 期工程共采用 20 台 TBM,而本标段所用的 2 台 TBM 组装及施工均通过同 1 个组装洞完成,属

收稿日期: 2018-12-11; **修回日期**: 2019-05-06

基金项目: 中铁隧道局集团科技创新计划(隧研合 2019-20); 中铁隧道局集团科技创新计划(隧研合 2018-06)

作者简介: 杨光(1988—),男,河南洛阳人,2016 年毕业于大连理工大学,水利水电工程专业,硕士,助理工程师,现主要从事隧道工程的施工技术管理工作。E-mail: yghxsgz3@163.com。

“一洞双机”项目,这在国内尚属首例,还无类似经验可供借鉴。

为此,本文在以往 TBM 隧道施工经验的基础上,结合本工程施工生产需要,从 TBM 组装洞及其辅助洞室的结构布置形式和组装洞关键部位的受力计算等方面着手,探索“一洞双机”TBM 组装洞结构设计的最优形式,并对原设计形式进行分析优化,以期为 2 台 TBM 的同时组装和同时始发掘进奠定基础。

1　工程概况

1.1　工程概述

本工程为北疆供水 2 期工程某标段,主隧洞全长 43.847 km,设计纵坡 1/2 583。其中,采用钻爆法施工的洞段长 2.732 km,采用 TBM 法施工的洞段长 41.115 km。TBM 掘进段采用 2 台不同品牌(1 台由中铁装备生产制造,1 台由铁建重工生产制造)的国产 TBM 施工。开挖断面为圆形,开挖直径为 7.0 m。根据地质勘探资料,组装洞及其他功能洞室范围内,围岩主要为华力西期紫红—肉红色碱性、钾质花岗岩,围岩级别为Ⅱ级,围岩强度高、完整性好。区域内地表水贫乏,主要为冰雪融水和大气降水补给,蒸发量远大于降水量,地下不发育,矿化度较高。本工程范围内 50 年超越概率为 10%,中硬场地地震动峰值加速度位于 0.15g 区域,对应的地震基本烈度为Ⅶ级。

本工程 2 台 TBM 均通过 1 个支洞运输到组装洞后进行组装、步进并始发；2 台 TBM 通过同一个组装洞反向掘进,过程中的材料、人员、机械设备的运输也全部通过同一个组装洞完成,这就对组装洞的结构布置形式提出了新的要求。

1.2　设备简况

本工程所使用的 2 台 TBM 主要参数如表 1 所示。

表 1　TBM 设备主要参数

Table 1　Main parameters of TBM

项目名称	TBM1(上游)	TBM2(下游)
刀盘直径/m	7 030	7 030
驱动功率/kW	8×350	8×350
整机长度/m	345	215
装机功率/kW	5 100	4 400
最小水平转弯半径/m	500	500
掘进行程/mm	1 800	1 800
后配套结构	平台式+会车平台	门架式
额定(最大)推力/kN	19 635(27 488)	23 562(27 489)
额定/脱困转矩/(kN·m)	5 664/8 496	4 410/6 620
刀刃数量/个	49	49

2　原设计组装洞形式

2.1　原设计组装洞布置形式

本工程原设计交叉洞段和 TBM 组装洞的布置形式,如图 1 所示。原设计 TBM 各功能洞室布置为：从 T2 支洞进入主洞段后为 30 m 的交叉洞段,向上游方向分别为 120 m 的 TBM 后配套组装洞段、210 m 的步进洞段和 20 m 的始发洞段(未在图中标出)；向下游方向分别为 40 m 的连接洞段、80 m 的组装洞段、180 m 的步进洞段和 20 m 的始发洞段。组装洞起始位置距离主支洞交叉口约 55 m。

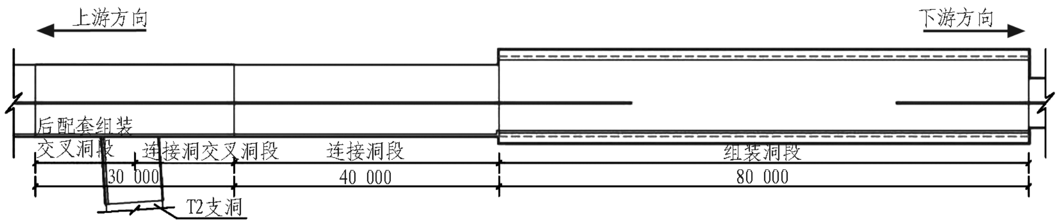

图 1　原设计 TBM 组装洞及其他辅助洞室结构布置形式(单位：mm)

Fig. 1　Structural layout of TBM assembly tunnel and other auxiliary tunnels in original design (unit：mm)

2.2　原设计形式存在的问题

TBM 组装洞的原设计结构布置形式存在一定弊端,主要分析如下：

1) 原设计 T2 支洞轴线与主洞轴线交角为 93.86°,近似垂直,转弯半径无法满足 TBM 组装及 TBM 掘进期间车辆大件运输的顺畅转弯需求,更无法满足 TBM 掘进期间平板运输汽车调头的需求。

2) 原设计主、支洞交叉口空间狭小,上下游 2 台 TBM 皮带机交汇于交叉口位置时,无法满足转渣塔结构布置的空间需求。

3) 原设计组装洞在 T2 支洞下游约 55 m 位置处,只能在下游 TBM 组装完成并全部步进至步进洞及始发洞后,才能开始上游 TBM 的组装,无法保证 2 台 TBM 的同时组装需要,直接导致工期延长(即 1 台 TBM 的组装工期,约 70 d)。

4) 原设计还将导致支洞皮带必须在上游 TBM 大件运输进洞后才能开始组装,无法开展多工作面施工,进一步延长了工期(约 15 d)。

5) 原设计组装洞设置在主支洞交叉口下游约 55 m 处,在进行上游 TBM 组装时,只能按照反向顺序将上游 TBM 的设备构件运输进洞,并在下游方向按反序摆放以便上游 TBM 正常组装,但这既要占据组装洞空

间,又不利于装机组织的开展。

6)本标段为“一洞双机”模式,且2台设备由不同厂家生产,所用设备配件及部分材料物资无法通用。按照原设计,在TBM掘进期间2台设备所需的材料物资及设备配件需存储在组装洞内,不但空间狭小,还容易造成物资分配混乱的现象,无法满足后期TBM快速掘进施工的需要。

2.3 优化目标

针对上述问题,为确保后期2台TBM掘进施工的顺利、高效,有必要对原设计的组装洞及其他功能洞室进行设计优化。以期达到的目标主要有以下2个方面:1)在TBM组装期间,满足2台TBM同时组装,满足TBM进场时大型配件的运输,满足主支洞交叉口转渣塔的布置;2)在TBM掘进期间,满足大型车辆的运输通行、调头及错车需要,满足2台TBM快速掘进的材料及机具设备存储需要,满足洞内抽排水需求。

3 优化方案

根据2.2节及2.3节所述问题及优化目标,制定了TBM组装洞及其他功能洞室结构布置形式的优化方案,总体方案要求如下:1)将组装洞设置在主、支洞交叉口处,结构及断面形式与原设计相同,且交叉洞段与上下游组装洞段的设计断面相同,上下游组装洞进行连通设计。2)交叉口处支洞段向两侧扩大为“喇叭口”形式。3)在主支洞交叉口底部设置300 m^3 集水仓和倒车洞。4)上下游分别设置附属设备服务洞室,断面形式与原设计后配套组装洞相同。5)TBM步进洞和始发洞维持原设计不变。

优化后TBM组装洞及其他辅助洞室结构布置形式如图2所示;优化前后TBM各功能洞室布置见图3和图4。

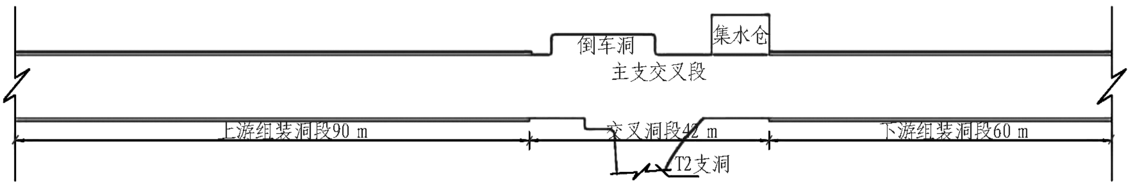

图2 优化后TBM组装洞及其他辅助洞室结构布置形式

Fig. 2 Structural layout of optimized TBM assembly tunnel and other auxiliary tunnels

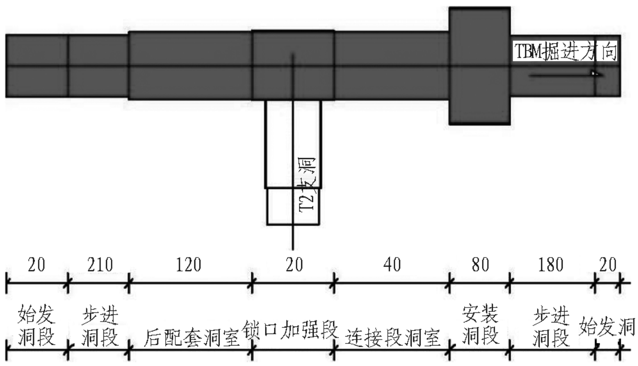

图3 优化前TBM各功能洞室布置图(单位:m)

Fig. 3 Layout of TBM functional tunnels before optimization (unit: m)

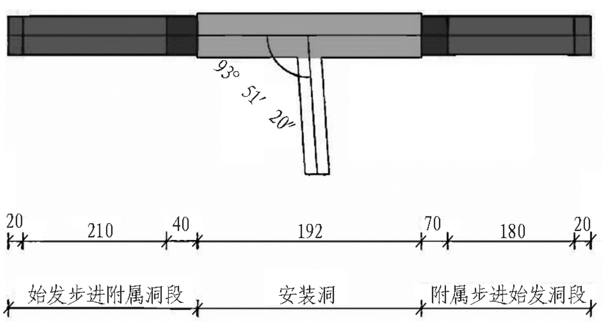

图4 优化后TBM各功能洞室布置图(单位:m)

Fig. 4 Layout of optimized TBM functional tunnels (unit: m)

如图2和图4所示,优化后从T2支洞进入主洞后为192 m的组装洞段,向上游方向分别为40 m的服务洞段、210 m的步进洞段和20 m的始发洞段;向下游方向分别为70 m的服务洞段、180 m的步进洞段和20 m的始发洞段。TBM组装洞即设置在主支洞交叉口处,上下游TBM组装有效区域分别为90 m和60 m,交叉洞段占42 m。

3.1 TBM组装洞优化说明

1)将组装洞设置在交叉口处,并使上下游连通,满足2台TBM设备同时组装需求,可节省1台TBM组装工期;且任何1台TBM组装、步进完成后均可以安装对应主洞连续皮带机,对施工组织及工期有利。

2)2台TBM大尺寸结构件运输进洞后即可开始支洞皮带主要结构件(除转渣塔外)的安装,可进行多工作面作业,实现TBM提前掘进。

3)TBM组装洞较原设计扩大,在掘进施工期间的材料存储区域相应增大,且2台TBM所需材料、设备配件等可分开存储,互不干扰。可实现延伸材料及备件等物料高效转运,保障TBM连续快速掘进。

4)交叉洞段与上下游组装洞段断面设计相同,吊装设备行走轨道相通,两侧洞室无论是TBM组装期间还是TBM掘进期间都能实现资源的相互调配,提高效率、降低风险。

3.2 交叉洞段优化说明

将交叉口扩大为“喇叭口”形式,能够满足皮带机转渣塔结构的布置需要(转渣塔长×宽约为7 m×5 m)，且能同时满足平板运输汽车的运输、错车需要。

3.3　其他洞室优化说明

1) 主洞上游顺坡排水及下游反坡抽排水汇集于交叉口通过支洞排出，交汇处排水量大，为确保施工安全、顺畅，在主支洞交叉口底部设置 300 m^3 集水仓，上下游废水汇至集水仓内，再排出至洞外。

2) 为了实现 TBM 掘进期间上、下游较长运输车辆洞内调头，确保洞内运输安全及运输时交叉口范围设备安全，在交叉口增加倒车洞室，能够实现洞内会车。

3.4　优化后各功能洞室概述

TBM 组装洞为 TBM 设备组装区域以及掘进期间材料储存区域；TBM 服务洞在组装期间为 TBM 存机区域，在掘进期间为材料储存区域；TBM 步进洞为设备组装期间的存机区域；TBM 始发洞为设备始发区域。

各功能洞室结构断面如图 5—8 所示。

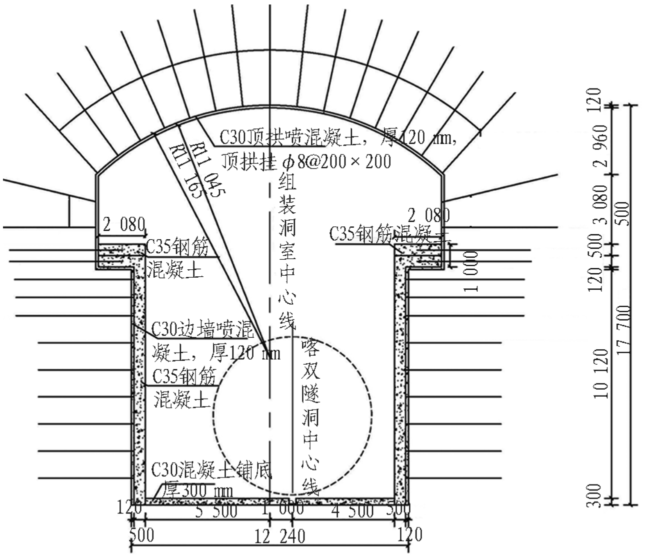

图 5　TBM 组装洞横断面图(单位：mm)

Fig. 5　Cross-section of TBM assembly tunnel (unit：mm)

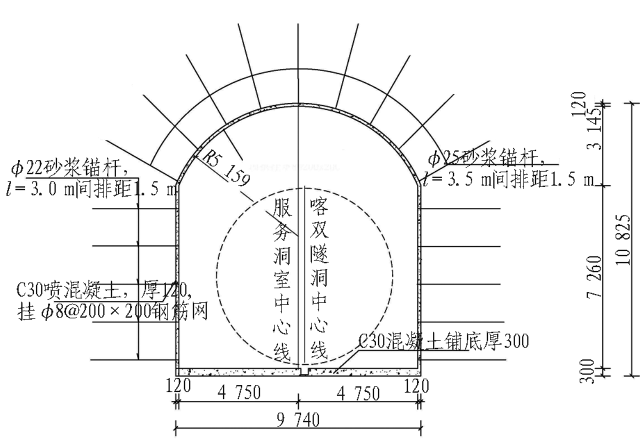

图 6　TBM 服务洞横断面图(单位：mm)

Fig. 6　Cross-section of TBM service tunnel (unit：mm)

4　优化结构受力计算

对 TBM 组装洞及其他功能洞室结构设计进行优化后，上下游组装洞通过交叉口位置连通，主洞与支洞连接处断面形式及结构受力与原设计发生变化，一方面交叉口需承载上部围岩应力，另一方面还需承载上部过轨平台自重以及在正常施工阶段桥吊通过时的静、动荷载。因此，需对主支洞交叉口范围结构受力进行验算。

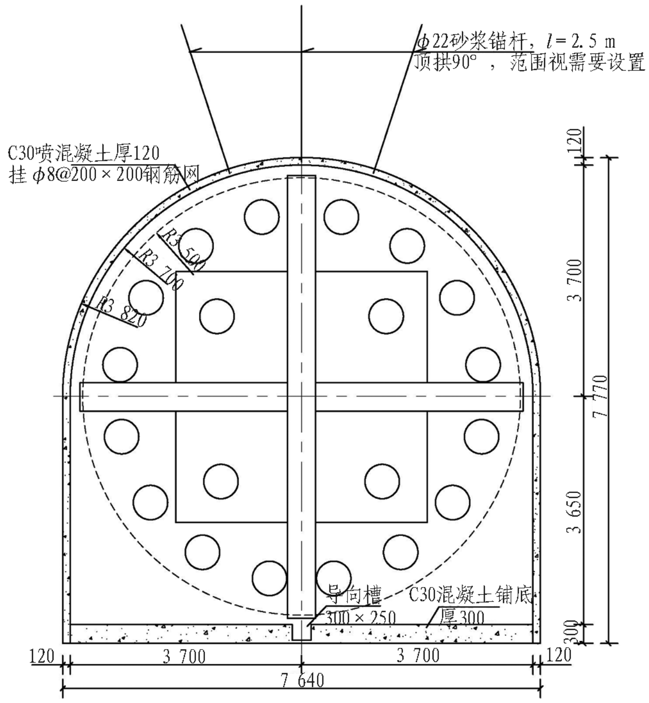

图 7　TBM 步进洞横断面图(单位：mm)

Fig. 7　Cross-section of TBM stepping tunnel (unit：mm)

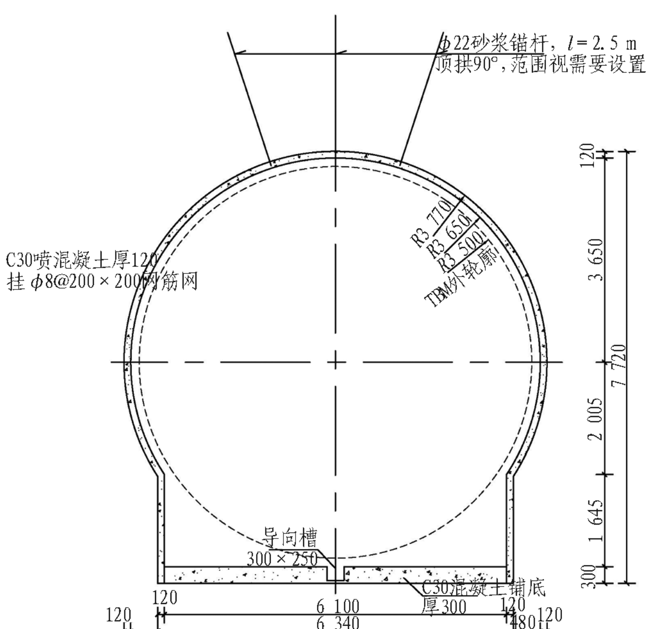

图 8　TBM 始发洞横断面图(单位：mm)

Fig. 8　Cross-section of TBM lanching tunnel (unit：mm)

4.1　主支洞交叉口支护方案

隧洞整体采用锚网喷支护体系，对主支洞交叉口

42 m 范围进行加强支护。其中,主支洞相交处支洞部位采用 I200 工字钢进行喇叭口加固,间距为 0.6 m;主洞部位 30 m 范围内采用 HW150 型钢拱架进行加强支护,间距 1.5 m;过轨平台采用钢筋混凝土结构。

4.2 计算目的及条件

为了明确主支洞交叉口在开挖过程中的围岩应力,吊车钢筋混凝土过轨平台、支洞扩大端型钢拱架支撑的受力情况,以及开挖过程扩大端蘑菇头上部围岩的应力状态,采用有限单元法对施工过程围岩及支护结构的受力情况进行分析,根据分析结果对已采取的支护方式进行优化。

交叉口支护部位的结构荷载主要考虑上部围岩应力、钢筋混凝土过轨平台自重及传导的上部荷载;主洞部位的结构荷载主要考虑上部围岩应力、桥吊荷载以及型钢拱架传导的应力。

4.3 有限元模型的建立

采用 MIDAS/GTS 有限元计算软件,对主支洞交叉口部位建立三维有限元模型。用板单元模拟喷射混凝土,用植入式桁架线单元模拟锚杆,用梁单元模拟型钢拱架。围岩采用自由网格划分和映射网格划分,对主支洞交叉口处进行网格细化。主支洞交叉口结构断面如图 9 所示,所建有限元模型如图 10 所示。

4.4 材料参数

1) 支护材料物理力学参数如表 2 所示。

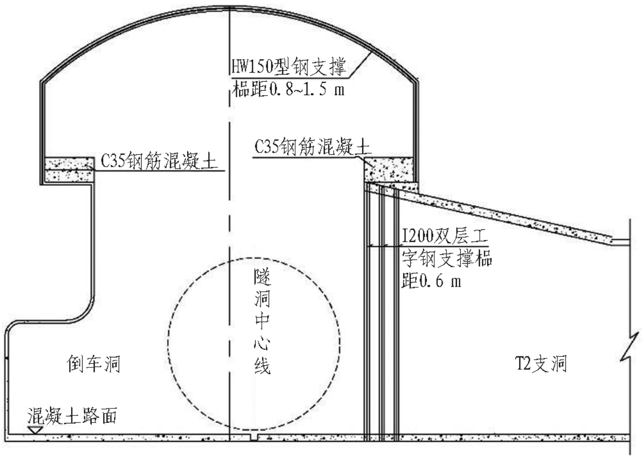

图 9 主支洞交叉口结构断面图

Fig. 9 Structural cross-section of connection section between main and branch tunnels

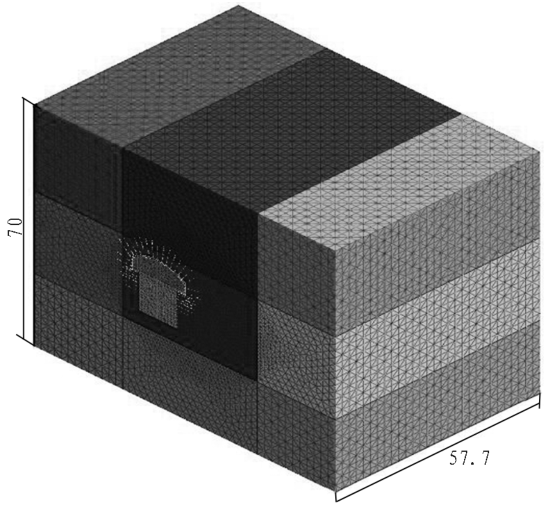

图 10 主支洞交叉口有限元模型(单位: m)

Fig. 10 Finite element model of connection section between main and branch tunnels (unit: m)

表 2 支护材料物理力学参数

Table 2 Physico-mechanical parameters of support materials

隧洞类型	支护材料	支护材料型号	厚度/m	直径/mm	间距/m	长度/m	本构模型	弹性模量/MPa	泊松比	容重/(kN/m^3)	模型单元属性
组装洞	吊车轨道底混凝土	C35	1				弹性	31 000	0.5	26	3D
	喷射混凝土	C30	0.2				弹性	31 000	0.5	26	2D
	锚杆	HRB400E		22	1.2×1.2	4.0	弹性	210 000	0.5	7 800	1D
				25	1.2×1.2	5.0	弹性	210 000	0.5	7 800	1D
				28	0.5×1.2	5.0	弹性	210 000	0.5	7 800	1D
	钢拱架	HW150			1.5		弹性	210 000	0.5	7 800	1D
支洞	喷射混凝土	C30	0.35				弹性	31 000	0.5	26	2D
	锚杆	HRB400E		22	1.2×1.2	4.0	弹性	210 000	0.5	7 800	1D
				25	1.2×1.2	5.0	弹性	210 000	0.5	7 800	1D
				28	0.5×1.2	5.0	弹性	210 000	0.5	7 800	1D
	钢拱架	HW150			0.6~1.2		弹性	210 000	0.5	7 800	1D
		HW200			0.6~1.2		弹性	210 000	0.5	7 800	1D

2）根据地质勘测资料及设计图纸，隧洞所在地主要为硬岩，围岩等级为Ⅱ级，数值分析时岩土层材料选用摩尔-库仑（Mohr-Coulomb）弹塑性模型，结构材料选用弹性（Elastic）模型，具体的材料属性见表 3。

表 3　Ⅱ级围岩物理力学参数

Table 3　Physico-mechanical parameters of class Ⅱ surrounding rock

弹性模量/MPa	泊松比	容重/(kN/m^3)	黏聚力/MPa	内摩擦角/(°)
1.3×10^3	0.25	26	0.2	55

4.5　数值分析模型

主支洞交叉口支护结构数值分析模型如图 11 和图 12 所示。

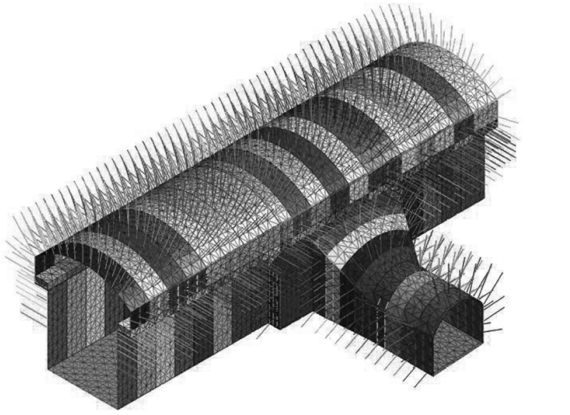

图 11　主支洞交叉口混凝土层及锚杆模型

Fig. 11　Concrete layer and anchor model of connection section between main and branch tunnels

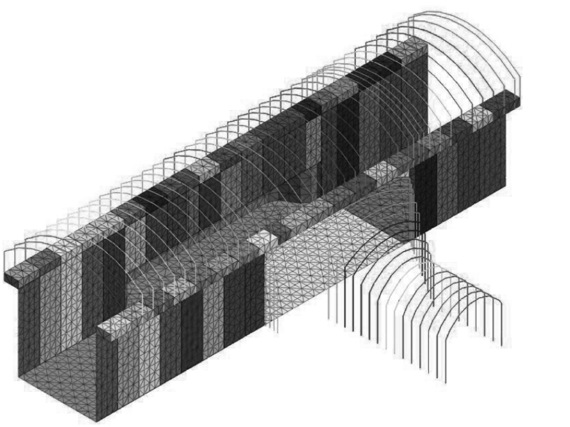

图 12　主支洞交叉口钢拱架模型

Fig. 12　Steel arch model of connection section between main and branch tunnels

4.6　计算结果分析

1）在围岩自重和吊车荷载作用下，支护结构位移最大值为 9.44 mm，混凝土衬砌的混凝土应力为 9.49 MPa，锚杆轴向拉应力小于钢材的强度设计值，钢拱架应力也小于设计强度。

2）在围岩自重和吊车荷载作用下，主支洞交叉口扩大段支护结构位移最大值为 9.87 mm，混凝土衬砌混凝土应力为 9.49 MPa，钢拱架轴向压应力为 85.15 MPa，弯曲应力为 137 MPa，小于钢筋的强度设计值 315 MPa。

3）在吊车荷载作用下，过轨平台混凝土层位移为 9.7 mm，压应力为 1.57 MPa，小于混凝土抗压强度 16.1 MPa。

4）在吊车荷载作用下，支洞喇叭口处预留的围岩位移为 9.7 mm，围岩剪应力为 4.2 MPa，塑性应变为 0.004；围岩没有出现塑性区。

综上所述，优化后的交叉洞段在原有支护条件下，洞室结构均能保持稳定，满足施工生产需要。

5　结论与建议

本文以北疆供水 2 期工程某标段为例，对“一洞双机”模式下，TBM 组装洞的结构布置形式进行分析，提出了原设计方案存在的弊端和优化方案，并对关键部位进行了受力验算。据此，得出“一洞双机”TBM 组装洞结构布置形式的要点。

1）将 TBM 组装洞设置在主支洞交叉口处，自支洞进入主洞后可分别在上游侧和下游侧同步进行 2 台 TBM 的组装施工。

2）对交叉口处断面形式与上下游组装区域的断面形式进行统一，上部蘑菇头扩大部分进行连通设计，可实现吊装设备的上下调配使用，节省资源。

3）将支洞与主洞相交部位的支洞部分进行扩大设计，方便转渣结构的布置及 TBM 组装期、掘进期的运输需求。

4）根据后期掘进施工的需要，配置其他功能性辅助洞室（如集水仓、倒车洞等）。

按照优化方案完成 TBM 组装洞及其他功能洞室的施工后，在 TBM 组装期间，2 台 TBM 实际进场时间相差约 15 d，但进场后均按计划完成了同步组装任务。2 台 TBM 组装、步进并调试完成共计用时 65 d，相比 2 台 TBM 依次组装用时（约 140 d）大幅减少。另外，截至目前本标段 TBM 已掘进施工 5 个月（其中，前 3 个半月为试掘进期），共计开挖约 6 000 m，平均单台 TBM 单月进尺约 600 m。若不考虑试掘进，在正式掘进期，平均单台 TBM 单月进尺可达到 750 m 左右，且洞内人员、材料、设备配件等运输周转良好，未出现过因运输问题而停机待料的现象，总体达到了 2 台 TBM 同时组装及连续快速掘进施工的目的。

由于工期紧张，组装洞优化方案仍然存在一定的缺陷，主要有以下几点：

1）上游 TBM 步进洞长度无法满足 TBM 整机长度的要求（上游步进洞 210 m，TBM 整机长度 335 m），TBM 步进完成后，尾端 60 m 仍在组装洞内，占用了主洞连续皮带机的空间。下游 TBM 整机长度 200 m，不

存在此类问题。

2)未考虑洞内搅拌系统,在掘进过程中,喷射混凝土出现了供应不足的情况。

3)主支洞交叉口转渣塔下未考虑皮带机掉落废渣的收集区,导致交叉口文明施工工作存在较大难度。

4)洞底 300 m^3 集水仓上部空间高度设计过小,大型水泵安装高度不足。

5)对组装洞进行优化后,主体工程量有所增加,经核算,总投资增加约 480 万元,存在较大的变更风险。

6)由于优化后组装洞等功能洞室主体工程量有所增加,施工工期也有相应增加,经对比,优化后方案较原设计方案工期延长约 60 d,但总体施工工期还需根据后期 TBM 掘进施工情况进行对比验证。

在今后类似工程施工过程中,可针对上述几点问题,对 TBM 组装洞进行进一步优化。

参考文献(References):

[1] 荆留杰, 张娜, 杨晨. TBM 及其施工技术在中国的发展与趋势[J]. 隧道建设, 2016, 36(3): 331.
JING Liujie, ZHANG Na, YANG Chen. Development of TBM and its construction technologies in China[J]. Tunnel Construction, 2016, 36(3): 331.

[2] 洪开荣, 王杜娟, 郭如军. 我国硬岩掘进机的创新与实践[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(4): 519.
HONG Kairong, WANG Dujuan, GUO Rujun. Innovation and practice of hard rock TBM in China[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(4): 519.

[3] 齐梦学. 硬岩掘进机(TBM)在我国隧道施工市场的推广应用[J]. 隧道建设, 2014, 34(11): 1019.
QI Mengxue. Promoting TBM in tunnel construction in China[J]. Tunnel Construction, 2014, 34(11): 1019.

[4] PEARSE G. 莱索托的南水北调工程[J]. 杨次华, 译. 隧道译丛, 1994(3): 22.
PEARSE G. WT project report: Lesotho[J]. Translator: YANG Cihua. Collection of Translations on Tunnel, 1994(3): 22.

[5] 吴之明. 英吉利海峡隧道与台湾海峡隧道[J]. 铁道知识, 2005(2): 42.
WU Zhiming. Imaging the Taiwan Strait Tunnel inspired by the Channel Tunnel[J]. Railway Knowledge, 2005 (2): 42.

[6] 肖书安, SATTEL G. 瑞士 Vereina 隧道工程中的地质超前预报测量[J]. 广东公路交通, 1998(增刊1): 115.
XIAO Shu'an, SATTEL G. Geological advance prediction measurement in Swiss Vereina Tunnel Project[J]. Guangdong Highway Communications, 1998(S1): 115.

[7] 尹俊涛, 尚彦军, 傅冰骏, 等. TBM 掘进技术发展及有关工程地质问题分析和对策[J]. 工程地质学报, 2005, 13(3): 389.
YIN Juntao, SHANG Yanjun, FU Bingjun, et al. Development of TBM-excavation technology and analysis & countermeasures of related engineering geological problems[J]. Journal of Engineering Geology, 2005, 13(3): 389.

[8] 张镜剑, 傅冰骏. 隧道掘进机在我国应用的进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(2): 226.
ZHANG Jingjian, FU Bingjun. Advance in tunnel boring machine application in China[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(2): 226.

[9] 邓铭江. 深埋超特长输水隧洞 TBM 集群施工关键技术探析[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(4): 577.
DENG Mingjiang. Key techniques for group construction of deep-buried and super-long water transfer tunnel by TBM[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, 38(4): 577.

[10] 刘福生, 蒋于波, 王红霞, 等. 特大断面 TBM 组装洞室爆破施工技术研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(12): 70.
LIU Fusheng, JIANG Yubo, WANG Hongxia, et al. Study of blasting construction technology for extra-large cross-section TBM assembly cavern[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(12): 70.

[11] 李文富, 刘亮. TBM 地下组装洞室的结构设计与稳定性分析[J]. 水利建设与管理, 2014, 34(10): 28.
LI Wenfu, LIU Liang. Structural design and stability analysis on TBM underground fitting chamber[J]. Water Resources Development & Management, 2014, 34(10): 28.

[12] 袁亮. TBM 地下组装洞室的设计与施工[J]. 水电站设计, 2013, 28(增刊): 48.
YUAN Liang. Design and construction of TBM underground assembly cavern[J]. Design of Hydroelectric Power Station, 2013, 28(S): 48.

[13] 邓勇. 大断面 TBM 组装洞室设计与施工[J]. 现代隧道技术, 2010, 47(1): 66.
DENG Yong. Design and construction of TBM assembly chamber with large cross-section[J]. Modern Tunnelling Technology, 2010, 47(1): 66.

[14] 赵宪女. 吉林省中部城市引松供水工程(温德河至岔路河段)安装间设计分析[J]. 长春工程学院学报(自然科学版), 2017, 18(2): 65.
ZHAO Xiannv. A brief analysis on installation room design in the project on diverting Songhua River to supply water in central cities of Jilin Provience (Wende River to Chalu River)[J]. Journal of Changchun Institute of Technology (Natural Science Edition), 2017, 18(2): 65.