

文章编号: 1674—8247(2024)02—0091—06

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.02.017

# 富水粉细砂隧道失稳破坏特征分析及增稳固结技术研究

孟翔鹏<sup>1</sup> 刘彦龙<sup>2</sup> 潘红伟<sup>3</sup> 宋战平<sup>2,4</sup>

(1. 中国铁建大桥工程局集团有限公司, 天津 300300; 2. 西安建筑科技大学, 西安 710055;

3. 中铁北京工程局集团第一工程有限公司, 西安 710100;

4. 陕西省岩土与地下空间工程重点实验室, 西安 710055)

**摘要:**桃树坪隧道穿越富水粉细砂地层,施工过程中极易出现大变形、涌水涌砂和坍塌等一系列破坏特征。通过对隧道失稳破坏的分析,总结了隧道在富水粉细砂条件下失稳破坏的特征,分析了破坏特征发生的机制,认为隧道的破坏主要由围岩岩性和地下水造成;由隧道破坏机理提出了增稳固结措施,通过超前降水、超前小导管注浆高分子化学浆对掌子面前方砂层进行预先固结,提高钢架整体刚度,通过对扰动砂层进行灌浆和回填等措施进行固结,围岩的自承能力得到提高。从处理后围岩的情况、涌水量和监测情况分析发现,增稳固结技术能从根本上提高围岩的自承能力,抑制发生失稳破坏,为隧道在富水粉细砂地层中的施工提供借鉴。

**关键词:**粉细砂地层;富水;涌水涌砂;失稳模式;增稳固结

**中图分类号:**U45 **文献标志码:**A

## Analysis of Tunnel Instability and Damage Characteristics in Water-rich Silty Fine Sand Formations and Research on Stabilization and Consolidation Techniques

MENG Xiangpeng<sup>1</sup> LIU Yanlong<sup>2</sup> PAN Hongwei<sup>3</sup> SONG Zhanping<sup>2,4</sup>

(1. China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group Co., Ltd., Tianjin 300300, China;

2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

3. The First Engineering Co., Ltd. of China Railway Beijing Engineering Group Co., Ltd., Xi'an 710100, China;

4. Shaanxi Key Laboratory of Geotechnical Underground Space Engineering, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Taoshuping Tunnel passes through water-rich silty fine sand formations, where a series of destructive phenomena such as significant deformation, water and sand gushing, and collapse are prone to occur during construction. By analyzing the unstable failures of the tunnel, the characteristics of instability and failure under the conditions of water-rich silty fine sand were summarized. The mechanisms of these failure characteristics were analyzed, and it is believed that the tunnel's failure is mainly caused by the lithology of the surrounding rock and groundwater. Based on the tunnel failure mechanism, stabilization and consolidation measures are proposed. These measures include advanced dewatering

收稿日期:2022-08-01

作者简介:孟翔鹏(1982-),男,高级工程师。

基金项目:陕西省创新能力支撑计划—创新团队(No. 2020TD-005);陕西省住房城乡建设科技计划(2019-K39)

引文格式:孟翔鹏,刘彦龙,潘红伟,等.富水粉细砂隧道失稳破坏特征分析及增稳固结技术研究[J].高速铁路技术,2024,15(2):91-96.

MENG Xiangpeng, LIU Yanlong, PAN Hongwei, et al. Analysis of Tunnel Instability and Damage Characteristics in Water-rich Silty Fine Sand Formations and Research on Stabilization and Consolidation Techniques [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2):91-96.

and advanced small-diameter pipe grouting with high molecular chemical slurry to pre-consolidate the sand layer ahead of the heading, improving the overall stiffness of the steel frame. Grouting and backfilling measures are implemented to consolidate the disturbed sand layers, thereby enhancing the self-supporting capacity of the surrounding rock. Through analysis of the post-treatment condition of the surrounding rock, water inflow volume, and monitoring data, it is found that the stabilization and consolidation techniques can fundamentally improve the self-supporting capacity of the surrounding rock, suppress instability and failure, providing valuable references for tunnel construction in water-rich silty fine sand formations.

**Key words:** silty fine sand formations; water-rich; water and sand gushing; instability mode; stabilization and consolidation

隧道施工中常遇到软弱砂层、富水等不良地质,如处理不当会造成大变形、涌水和塌方等工程事故<sup>[1]</sup>。国内有许多著名的富水软弱围岩隧道<sup>[2-4]</sup>,例如:炎汝高速公路大奎隧道、青岛胶州湾海底隧道、兰新铁路乌鞘岭隧道等。若隧道遇到富水软弱围岩等不良地质情况,会引发塌方等工程事故,增加施工难度<sup>[5-6]</sup>。

目前,国内外学者在隧道大变形塌方等结构破坏方面做了大量研究,取得了诸多有价值的成果。在隧道失稳破坏机制方面,刘高<sup>[7]</sup>等对围岩岩性、地应力和地下水等进行分析,得出某隧道产生大变形破坏是围岩的塑性流动和膨胀变形共同作用的结果;汪波<sup>[8]</sup>等发现坍塌是强震区条件下的软岩隧道变形破坏的主要特征,且发生的部位多数在掌子面周围;Fraldi<sup>[9-10]</sup>等对隧道任意开挖断面的塌方机制进行理论分析,以Hoek-Brown屈服准则推导出了解析解,并对塑性范围内的洞室塌方机制进行分析,通过变分原理得出了极限解。在隧道失稳破坏处治措施方面,杨晓华<sup>[11]</sup>等通过分析隧道的塌方原因,综合阐述了塌方处治技术和必要的防排水措施;李忠<sup>[12]</sup>提出了治理铁路隧道施工中的水砂混合物突涌灾害的“三原则”,分别是:质量控制与施工监测相结合,注浆加固与隧道排水相结合,地质工作与超前预报相结合;苏秀婷<sup>[13]</sup>收集了大量的国内外隧道施工坍塌的事件,对青岛地铁塌方的类型、机理等进行了分析,并提出了防治措施;王云龙<sup>[14]</sup>等参考板的稳定理论对板岩隧道的塌方机制进行分析,得出隧道初期支护做不及时和板岩的层状特性是隧道塌方的根本因素。

综上所述,国内外学者通过室内试验、理论分析等方法对隧道的失稳破坏特征进行了分析,详细研究了失稳破坏的各种原因,提出了处治隧道塌方的措施。然而,针对富水粉细砂地层的软岩隧道失稳破坏特征分析较少,相关的围岩的增稳固结技术研究也较少,国内外可以借鉴的工程有限。因此,本文以桃树坪隧道失稳破坏特征为例,总结富水粉细砂地层失稳

破坏的特征,对其破坏机制进行分析,并提出增稳固结技术。研究成果可为类似工程提供借鉴。

## 1 工程概况

桃树坪隧道位于兰州站站端,是兰渝铁路的重点隧道,隧道全长3 220 m,起讫里程为DK 3+435~DK 6+655。桃树坪隧道为单洞双线铁路隧道,所在地区的地势起伏较大,隧道进出口相对高差超过200 m,平均埋深有60 m,隧道开挖高度和跨度分别达到13.2 m和12.56 m,开挖断面约140 m<sup>2</sup>,属于典型的大断面隧道。

按照TB 10003-2016《铁路隧道设计规范》的规定,桃树坪隧道围岩为VI级,主要为上第三系富水粉细砂。隧址地段存在较高的地下水位,有较大的出水量,正洞有达到1 000 m<sup>3</sup>/d的排水量。富水时围岩的自稳能力极差,且呈流塑状,溜塌等灾害极易发生。渗水情况下,呈流砂状态的原状粉细砂易外涌。隧道施工后沉降和变形量较大,坍塌灾害极易发生,大大增加了其施工难度。

## 2 隧道失稳破坏特征分析

### 2.1 典型失稳破坏情况统计

桃树坪隧道发生多次涌水涌砂和塌方等多种变形破坏,选择几个典型的破坏特征进行分析。

(1)斜井进正洞挑顶施工时,受到钙质胶结层降水困难影响,持续出现突水、涌砂,无法正常施工,整体进度不理想。

(2)桃树坪隧道3号斜井重庆方向上断面正施工DK 5+378~378.5段,在开挖到距离右侧拱脚2 m左右位置时出现掌子面崩塌,发生塌方。同时右侧导洞上台阶正在开挖施工DK 5+412~412.5段,下台阶正在进行DK 5+386~387段侧壁施工。由于上断面瞬间塌方造成右导洞DK 5+378~387段侧壁失稳发生塌方,此段导洞被粉细砂充填封闭。

(3)桃树坪隧道3号斜井重庆方向正进行DK 5+

488~491段右侧边墙4部向下接腿施工时,涌水涌砂灾害在DK 5+487边墙脚出现,钢架在受力时出现异响,出现外鼓和环向开裂,初期支护喷射混凝土表面出现开裂、掉块等灾害。

(4)塌方导致前方段落侵限,最大侵限值142 cm;DK 5+499.6处右侧拱部初期支护钢架出现环向开裂、钢架收敛侵入净空105 cm;DK 5+510拱顶沉降30 cm,DK 5+515拱顶沉降20 cm,中隔壁承压后已有明显挠曲,存在极大的安全隐患。

## 2.2 失稳破坏特征分析

通过分析桃树坪隧道发生的灾害情况,得出了富水弱胶结粉细砂地层隧道的结构失稳破坏特征,主要有:

(1)隧道结构失稳破坏主要以大变形、初期支护开裂、涌水涌砂和坍塌的形式出现,主要在拱脚、边墙和掌子面的位置处产生破坏,在拱顶处也有部分破坏产生。

(2)隧道的失稳破坏的部位主要集中在地下水较多的地方,不同部位的含水量不同,则发生的失稳破坏特征也不尽相同,都处于地下水集中的地方,具体表现为:水量较大→拱脚失稳→变形增大→坍塌。

(3)变形量较大,趋于稳定的时间长,由现场得到的监测数据可知,拱顶沉降和周边收敛的最大值分别为40 cm和35 cm左右。

(4)粉细砂地层隧道的破坏具有阶段性和持续性的特征,在隧道出现坍塌后,破坏会持续出现,坍塌将会在下一阶段产生。

(5)振动和地下水对粉细砂地层隧道失稳破坏的影响比较大,对围岩的多次扰动会对其产生一定的影响,另外地下水的影响会形成流砂层,进而造成坍塌。

## 2.3 失稳破坏机制分析

根据施工情况及对大变形破坏段的水文地质条件的勘测,认为破坏成因机制有以下几方面。

### 2.3.1 隧道地层岩性方面

重力坍塌、膨胀内鼓、塑性挤出和塑流涌出为富水粉细砂地层隧道的主要失稳模式。

桃树坪隧道所在的主要地层以粉细砂为主,泥钙质弱胶结,颗粒较均一,呈散粒状的粉细砂在扰动后产生,自稳能力较弱,遇水易坍塌。

富水粉细砂地层中开挖隧道时,地下水中处于塑性或半塑性状态的粉细砂层会出现,其屈服强度低于围岩应力时,最大应力梯度方向往消除阻力的隧道内部会有软弱的塑性物质挤出,增大收敛变形,最终导致坍塌;在孔隙水压力作用下,软弱的塑性物质可能和地下水一起涌进隧道,造成涌水和涌砂现象,隧道

围岩最终发生失稳破坏;在重力场和地下水的双重作用下,隧道会发生坍塌。因此,塑性挤出、塑流涌出和重力坍塌是造成隧道在富水粉细砂地层中失稳破坏的主要因素。

### 2.3.2 地下水影响方面

桃树坪地区存在的地下水类型为松散沉积层孔隙潜水和碎屑基岩孔(裂)隙潜水。饱和的多孔砂土中地下水在其孔隙中流动,颗粒骨架的稳定性受到严重影响,会使其产生破坏作用。砂土颗粒在静水压力作用下会产生浮力,颗粒的有效重量会减轻,即使土体不受浮力的直接破坏,其抵抗破坏的能力会降低。当饱和砂土中出现水头差时,就会出现驱动水头,使得地下水通过砂土颗粒间孔隙流动,产生渗透力或渗流冲刷力。土体颗粒一方面对孔隙水流产生一定的摩阻力,另一方面还受静水浮力,两种力关系着砂土体的渗透稳定性。

砂土出现涌水涌砂破坏时,水的作用使得砂土颗粒之间的胶结力迅速减小,其强度往往呈现突发性降低,砂土层可能在瞬间达到破坏状态。

## 3 隧道增稳固结措施

为解决桃树坪隧道施工过程中出现的大变形破坏及塌方问题,结合现场的实际情况,在现场多次试验后,提出一种隧道增稳固结技术,总体设计思路为:预先固结掌子面前方砂层,主要措施为超前小导管注浆和超前降水;通过增设纵向连接槽钢、锁口锚固管、优化纵向连接钢筋连接方式等,对钢架连接处薄弱环节进行加强,提高钢架整体刚度;补充固结施工扰动砂层,使其围岩的自承能力得到提高,主要措施为回填、固结灌浆初期支护背后位置。

### 3.1 超前降水

隧道正洞下半断面采用双侧壁导洞超前施工,施工高度5.3 m,降水方法采用“滤网集水坑集排水+真空轻型井点降水”,导洞进行分台阶超前降排水,选用长度4~5 m的 $\phi 32$  PPR管井和功率为7.5 KW的V6型真空泵,将水利用真空降水总管引排至滤网集水坑,然后进行集中抽排,如图1所示。

根据施工现场条件,达到最佳降水效果的标准是砂层在开挖掌子面时略潮湿但无明显水渗流,此时监测砂的含水率,结果为5%~8%。

### 3.2 分部开挖和架设立型钢钢架

选用上下台阶预留核心土法开挖下部导洞,架立I25型钢钢架,纵向间距取50 cm,将正洞初期支护钢架全环划分为10个单元,法兰采用单元间 $\delta 15$  mm

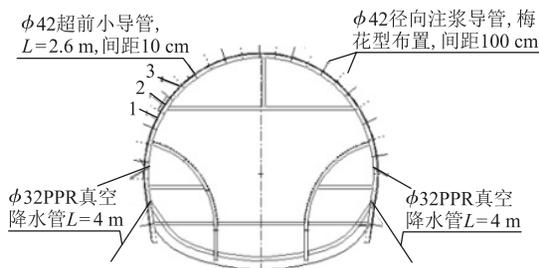


图 1 降水管、注浆管及超前小导管横断面图

厚钢板,用高强螺栓连接。为使钢架支立满足一定要求,需进行测量放线,且每榀钢架支立前均要进行。

### 3.3 增稳措施

根据现场施工工法的需要,施工中多次拼接钢架分单元,钢架的薄弱环节在连接处,需采取措施进行加强。

(1)加强纵向连接,需增设 I16a 槽钢 2 根,布置在每个连接板上下 30 cm 处。

(2)增设 4 根长度为 4 m 的  $\phi 42$  锁口锚管,布置在每个钢架连接板处,将其与钢架焊接牢固,并将砂浆灌注在管内。

(3)单面搭接焊纵向连接钢筋,并且“Z”字型布设,采用  $\phi 22$  的连接钢筋。

### 3.4 超前注浆预先固结

选用长度 2.6 m 的  $\phi 42$  超前小导管对上半断面加密打设,环向间距取 10 cm,固结浆液 HCH-I 高分子水胶隔孔压注其中,以此预先固结掌子面前方的砂层。为使注浆效果达到最佳,采用 1~2 MPa 的注浆压力。超前注浆效果最佳时,砂层略潮但无明水渗流。

### 3.5 回填灌浆补充固结

完成支立所有上部初期支护钢架时,相对于上断面掌子面滞后 5~8 m,初期支护背后及时回填灌浆,采用长度 1 m 的径向  $\phi 42$  注浆导管,选择 1 m 的环纵向间距,注浆压力 1~2 MPa,注水灰比为 1:1 的单液水泥浆。为使围岩的自承能力得到有效提高,需补充固结施工扰动砂层。

## 4 增稳固结效果分析

### 4.1 围岩前后对比

通过增稳固结技术对隧道处理之后,提高了降水效果、围岩的自承能力与初期支护钢架的整体稳定性,有效解决了隧道施工过程中的诸多问题,提高了施工的安全性。

### 4.2 涌水量变化

隧道的涌水量在涌水塌方段,伴随实施工程对

策,日涌水量呈降低趋势,且最终降低至 0,可知,可靠的超前降水措施对地下水控制是非常重要的。涌水量变化如图 2 所示。

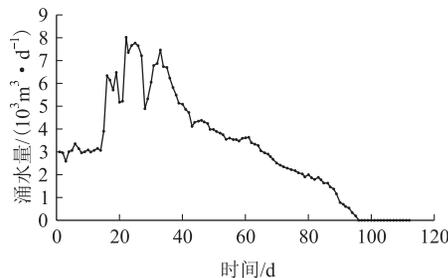


图 2 涌水量变化图

### 4.3 拱顶沉降

根据现场条件,选取 3 个断面对桃树坪隧道进行监测,利用拱肩收敛和拱顶沉降分析围岩变形,如图 3 所示。

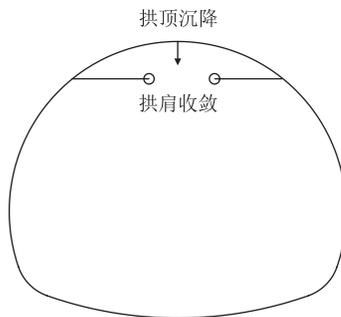


图 3 测点布置图

监测结果如表 1、图 4 所示,在初始阶段,拱顶沉降增速较大,第 40 d 之后,沉降速度随着施工的进行逐渐减缓,并随之达到稳定,最终在 50 mm 左右变化。由此可知,经过增稳固结措施对围岩处理后,隧道的拱顶沉降值减小,且趋于稳定的时间也变短。

表 1 拱顶沉降统计结果表

监测断面	观测天数/d	最大值/mm	最大沉降速率/(mm/d)
DK 5+180	50	52	3
DK 5+292	52	49	5
DK 5+339	56	56	4

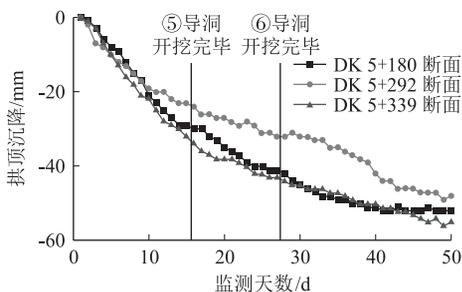


图 4 拱顶下沉变化曲线图

#### 4.4 净空收敛

隧道净空收敛时间与位移值如表2所示。3个监测断面的收敛值都在23 mm左右,支护结构较为稳定。

表2 净空收敛统计结果表

断面	收敛时间/d	最大位移/mm	平均值/mm
DK 5+180	92	-33.72	-25.56
DK 5+292	84	-31.56	-21.20
DK 5+339	79	-32.30	-22.88

隧道净空收敛时程曲线如图5所示,净空收敛位移值的变化趋势在监测断面处基本一致,都集中在23 mm左右;相对于未处理之前的收敛值,经过增稳固结处理之后,净空收敛减小幅度较大,开挖后期也不再有较大波动。

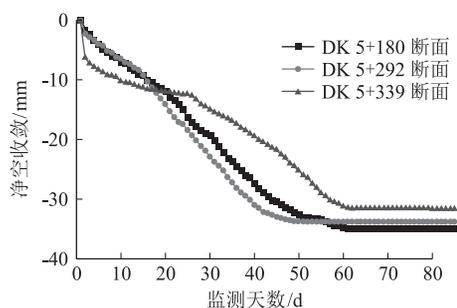


图5 净空收敛变化曲线图

## 5 结论

本研究结合桃树坪隧道工程,分析了富水粉细砂地层隧道的失稳破坏特征以及成因机制,提出了隧道的增稳固结技术,得到主要结论如下:

(1)隧道在富水粉细砂地层施工时,在复杂地质条件下,隧道主要有初期支护开裂、坍塌、涌砂涌水和较大变形等结构失稳破坏,破坏的部位主要集中在地下水较多的地方,破坏特征具有持续性和阶段性。

(2)隧道的破坏成因机制主要是地层岩性和地下水。在两者的共同作用下,富水粉细砂地层中围岩的失稳破坏是由塑性挤出、塑流涌出和重力坍塌多种破坏模式造成的。

(3)在分析破坏特征和机制的基础上,提出了隧道增稳固结技术,预先固结掌子面前方砂层,采取措施为超前小导管注高分子化学浆和超前降水;为使钢架整体刚度有效提高,加强钢架连接处薄弱环节;为使隧道围岩的自承能力提高,补充固结施工扰动砂层,主要措施为固结灌浆和回填初期支护背后位置。

(4)隧道采用增稳固结技术之后,围岩得到稳固,涌水量大大减少。从现场的监测数据可知,隧道的净

空收敛和拱顶沉降的减小幅度较大,抑制发生坍塌事故的效果明显。

## 参考文献:

- [1] 王怀正,宋战平,张学文,等. 富水弱胶结地层大断面隧道施工方案优化与工程应用研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(2): 210-219.  
WANG Huaizheng, SONG Zhanping, ZHANG Xuewen, et al. Optimization and Application of the Construction Scheme for Large-section Tunnels in Water-rich and Weakly Cemented Strata [J]. Modern Tunnelling Technology, 2022, 59(2): 210-219.
- [2] 郭小红,陈飞飞,褚以悖,等. 富水软弱带公路隧道支护技术研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(S2): 449-454.  
GUO Xiaohong, CHEN Feifei, CHU Yidun, et al. Research on Support Techniques for Tunnel in Watery and Weak Stratum [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(S2): 449-454.
- [3] 薛翊国,李术才,苏茂鑫,等. 青岛胶州湾海底隧道涌水断层注浆效果综合检验方法研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(7): 1382-1388.  
XUE Yiguo, LI Shucui, SU Maoxin, et al. Study of Comprehensive Test Method for Grouting Effect of Water Filling Fault in Qingdao Kiaochow Bay Subsea Tunnel [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(7): 1382-1388.
- [4] 李生杰,谢永利,朱小明. 高速公路乌鞘岭隧道穿越F4断层破碎带涌水塌方工程对策研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(S2): 3602-3609.  
LI Shengjie, XIE Yongli, ZHU Xiaoming. Research on Countermeasure of Water Gushing with Collapse in Process of Wushaoing Highway Tunnel Crossing F4 Fault Fracture Zone [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32(S2): 3602-3609.
- [5] 宋战平,张丹锋,曲建生,等. 承压富水砂土地层桩洞法施工变形控制研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015, 47(1): 33-38.  
SONG Zhanping, ZHANG Danfeng, QU Jiansheng, et al. Study on the Deformation Control of PBA Construction Method in Pressure Water Sand Stratum [J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Natural Science Edition), 2015, 47(1): 33-38.
- [6] 刘喆丰,田春香,李粮余,等. 高地应力软岩大变形隧道内轨道工程接口设计探讨[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 82-86.  
LIU Zhefeng, TIAN Chunxiang, LI Liangyu, et al. Discussion on Interface Design of Track Construction in Soft Rock Large Deformation Tunnel [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 82-86.
- [7] 刘高,张帆宇,李新召,等. 木寨岭隧道大变形特征及机理分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(S2): 5521-5526.  
LIU Gao, ZHANG Fanyu, LI Xinzhaoyao, et al. Research on Large Deformation and Its Mechanism of Muzhailing Tunnel [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(S2): 5521-

- 5526.
- [8] 汪波,李天斌,何川,等. 强震区软岩隧道大变形破坏特征及其成因机制分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(5): 928 - 936.
- WANG Bo, LI Tianbin, HE Chuan, et al. Analysis of Failure Properties and Formatting Mechanism of Soft Rock Tunnel in Meizoseismic Areas [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(5): 928 - 936.
- [9] FRALDI M, GUARRACINO F. Analytical Solutions for Collapse Mechanisms in Tunnels with Arbitrary Cross Sections [J]. International Journal of Solids and Structures, 2010, 47(2): 216 - 223.
- [10] FRALDI M, GUARRACINO F. Limit Analysis of Collapse Mechanisms in Cavities and Tunnels According to the Hoek-Brown Failure Criterion [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009, 46(4): 665 - 673.
- [11] 杨晓华,谢永利. 公路隧道坍方综合处治技术[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(1): 61 - 64.
- YANG Xiaohua, XIE Yongli. Synthetical Treatment Technique for Highway Tunnel Collapse [J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(1): 61 - 64.
- [12] 李忠. 在建铁路隧道水砂混合物突涌灾害的形成机制、预报及防治[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.
- LI Zhong. Formation Mechanism, Prediction and Prevention of Sudden Surge of Water-sand Mixture in Railway Tunnel under Construction [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2009.
- [13] 苏秀婷. 青岛地铁富水砂层隧道开挖施工风险与变形规律研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- SU Xiuting. Study on Construction Risk and Deformation Law of Qingdao Subway Tunnel in Water-rich Sand Layer [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [14] 王云龙,谭忠盛. 木寨岭板岩隧道塌方的结构失稳分析及预防措施研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(S2): 263 - 268.
- WANG Yunlong, TAN Zhongsheng. Structural Instability Analysis and Prevention Measures of Structural Collapse in Muzhailing Slate Tunnel [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(S2): 263 - 268.

(上接第 75 页)

基处理等工点图以及路基横断面图。二维图纸与三维模型均由相同的数据驱动创建,确保了图纸与设计模型的一致性,实现模型与图纸的互相联动更新。设计完成后,将三维模型与二维图纸同时交付。

### 3.4.2 数量计算

将所有需要统计的工程按部位进行细分,创建模型的同时根据数据计算数量,并以非几何信息的形式与模型绑定。统计工程量时,系统遍历已有模型,并获取模型中工程结构对应的部位,并统计该部位的具体数量数据、计量单位和材料类型等数据,逐一统计完成后,再进行汇总,得到具体工程数量,将具体工程数量按规定格式保存到 Excel 表格,作为成果交付。

## 4 结论

通过分析当前铁路路基 BIM 设计的痛难点,选择合适的 BIM 商业软件作为基础设计平台,以现有铁路路基设计标准以及铁路 BIM 联盟发布的 BIM 标准为准则,研发出一套以数据为核心,由参数驱动模型创建的铁路路基 BIM 设计系统,实现了路基土石方、支挡防护、排水、地基处理等常用路基工程设计,并根据设计模型输出二维图纸和工程数量,实现了图模一体化,大大提高了路基 BIM 设计的精细化程度与效率,有效节约了成本。

铁路路基 BIM 设计系统初步实现了铁路路基 BIM 正向设计,但仍需进一步研究与各专业之间高效的协同设计方法,深入研究实现数字化交付的手段。

## 参考文献:

- [1] 段熙宾,王冰峰. 基于区块链的轨道交通 BIM 模型安全管理方法[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(11): 136 - 140, 175.
- DUAN Xibin, WANG Bingfeng. Block-chain Based BIM Model Security Management Method for Rail Transit [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(11): 136 - 140, 175.
- [2] 马弯. 基于 BIM 的铁路轨道三维数字化设计系统研究[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(4): 90 - 96.
- MA Wan. Research on the Railway Track 3D Digital Design System on BIM [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(4): 90 - 96.
- [3] 谢先当,刘厚强,翟连吉. 基于 Bentley 平台的铁路路基 BIM 正向设计研究[J]. 铁路技术创新, 2020(4): 43 - 49.
- XIE Xiandang, LIU Houqiang, ZHAI Lianji. Research on Forward Designs of Railway Subgrade Based on Bentley Platform [J]. Railway Technical Innovation, 2020(4): 43 - 49.
- [4] 雷晓雨,王建,闫东旭,等. 基于达索平台的路基工程 BIM 设计方法研究[J]. 铁路技术创新, 2019(1): 13 - 16.
- LEI Xiaoyu, WANG Jian, YAN Dongxu, et al. Dassault-based Subgrade Engineering BIM Design Methods [J]. Railway Technical Innovation, 2019(1): 13 - 16.
- [5] 靳猛. 基于欧特克平台的铁路路基 BIM 设计技术研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(7): 59 - 63.
- JIN Meng. Research on BIM Design Technology of Railway Subgrade Based on Autodesk Platform [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(7): 59 - 63.
- [6] 谢先当,刘厚强. 基于 Bentley 平台的铁路路基参数化构件库研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(6): 47 - 51, 83.
- XIE Xiandang, LIU Houqiang. A Study on Parametric Component Library of Railway Earthworks Based on Bentley [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6): 47 - 51, 83.