

# 浅埋小净距隧道下穿多股铁路的风险分析及对策

张雪峰, 王延兵, 陈英鹏, 史晓博, 董延昭

(石家庄市轨道交通有限责任公司, 河北 石家庄 050000)

**摘要:**以石家庄地铁 1 号线张西区间下穿铁路既有工程为依托, 针对其浅埋、小净距、下穿铁路风险高等工程特点, 分析风险产生的原因及危害, 提出实施洞内控制、地层控制及既有铁路控制的分项控制对策。实践证明, 风险分析合理, 对策有效, 隧道施工及铁路运营安全可控, 可为类似工程提供参考。

**关键词:**隧道; 下穿; 铁路; 风险

**中图分类号:**U455.43 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2015)03-0049-07

## 0 引言

矿山法隧道下穿既有铁路是高风险工程, 施工中变形失控, 将影响列车平稳、安全和平顺运行<sup>[1]</sup>。随着此类交叉工程增加, 如何正确分析下穿施工风险并制定合理的对策, 控制地层沉降, 保证隧道施工和铁路运营安全显得十分重要。

赵立财<sup>[2]</sup>以东孚隧道下穿既有厦深铁路站场区段工程实例为依托, 从管幂法加固土体、铁路加固、弧形导洞预留核心土开挖等方面, 提出浅埋大跨径公路隧道近距离下穿铁路车站的施工方法。丁维利等<sup>[3]</sup>在高桥隧道出口下穿南同蒲既有铁路施工中, 根据黄土的特性对施工方案进行了优化, 将双侧壁导洞开挖法优化为双层支护形式的弧形导洞三台阶七步开挖法。张文斌<sup>[4]</sup>以某城际轨道交通下穿杭甬高铁桥梁工程为研究背景, 提出采用板桩路基及简支梁桥两种结构形式下穿高铁, 着重从桩基承载力基础沉降等方面分析土体扰动对杭甬高铁桥梁的安全影响。高云娇等<sup>[5]</sup>结合京石高铁下穿既有石德铁路工程, 研究了隧道下穿施工时对既有铁路的变形规律。本文以敏感地层中小净距隧道下穿铁路为依托, 从风险分析和对策两方面开展研究。

## 1 工程概况

石家庄地铁 1 号线一期工程张营停车场~西王站区间总长度约 870.9 m, 采用明暗挖结合的施工方法。在区间右线 RK0+280.000~右 RK0+371.000 及左线 RK0+276.600~左 RK0+365.000 范围, 矿山法区间隧道下穿 4 条铁路既有工程。由东向西分别为: 石家庄西环下行线、石太引入线下行线、石太引入线上行线、石家庄西环上行线, 均为货运线, 设计时速  $v \leq 120$  km/h。区间下穿铁路影响范围内, 共计 6 个接触网杆, 1 个信号灯。铁路与矿山法区间位置如图 1 所示。

下穿铁路段地层从上往下依次为: 人工填土层(素填土①<sub>2</sub>层)、新近沉积层(黄土状粉土②<sub>3</sub>层)、第四系全新统冲洪积层(黄土状粉质黏土③<sub>1</sub>层、黄土状粉土③<sub>2</sub>层)、第四系上更新统冲洪积层(粉质黏土⑤<sub>1</sub>层)。区间主要位于③<sub>2</sub>黄土状粉土层, ③<sub>1</sub>黄土状粉质黏土层, ⑤<sub>1</sub>粉质黏土层。地下水常水位在地面以下 25~45 m, 位于区间结构底板以下。暗挖段拱部土层主要位于③<sub>2</sub>黄土状粉土层。地质纵剖面如图 2。

下穿铁路段矿山法区间为双线单洞带仰拱马蹄形隧道, 左、右线区间净距约 3.0 m, 区间覆土埋深约 4.0 m~10.0 m。采用台阶法施工, 断面开挖宽度 7.0 m, 开挖高度 6.97 m, 面积为 40.4 m<sup>2</sup>。初支厚 30 cm, 采用 C25 喷射混凝土, 钢格栅间距 0.5 m, 全断面架设  $\Phi 6.5 @ 150 \times 150$  mm 钢筋网。二衬和仰拱厚

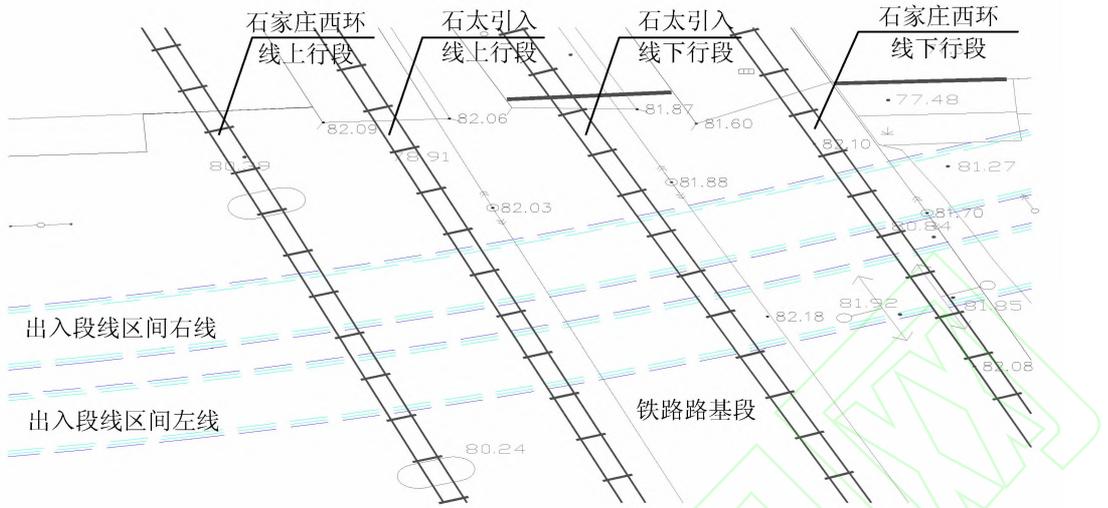


图 1 铁路与区间位置关系

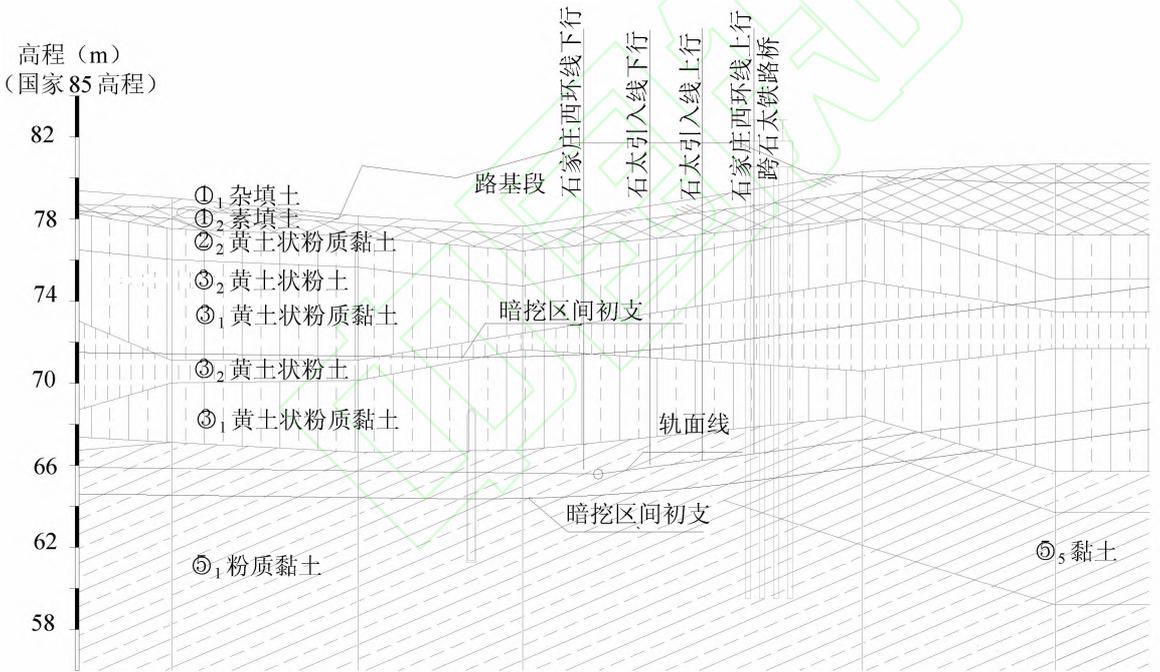


图 2 地质剖面图

35 cm,采用 C40 钢筋混凝土。如图 3 所示。

## 2 工程特点及施工风险分析

### 2.1 工程特点分析

工程的主要特点为：

(1)隧道埋深浅。区间隧道覆土埋深仅 4.0~10.0 m,洞室开挖扰动应力及位移变化波及到地表。

(2)小净距隧道相互影响显著。左右线隧道净距仅 3.0 m,后行隧道施工对先行隧道造成二次扰动,加剧先行隧道应力及位移发展,中间土柱可能产生失稳。

(3)地层松散,开挖稳定性差。隧道拱部黄土状粉土承载力低、变形大、有湿陷性,开挖后隧道上方难以形成压力拱,围岩在应力集中的位置易发生破坏。

(4)铁路安全运营风险高。既有铁路受扰动后会出现路基下沉、线路不平顺、其它结构下沉,行车安全受到威胁。

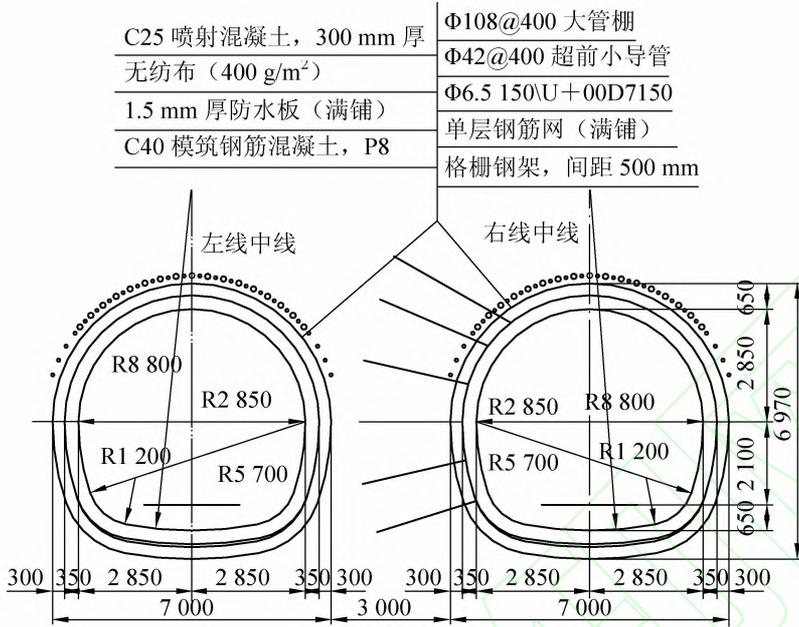
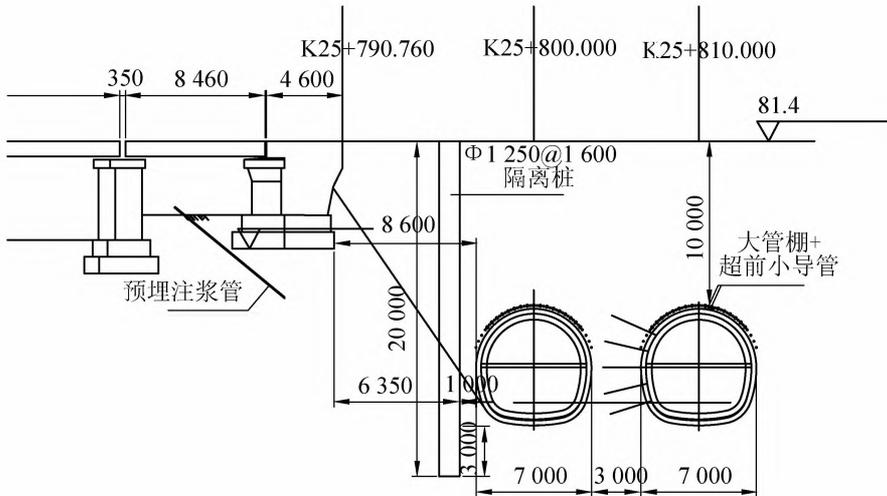


图 3 区间隧道结构横断面图(单位:mm)

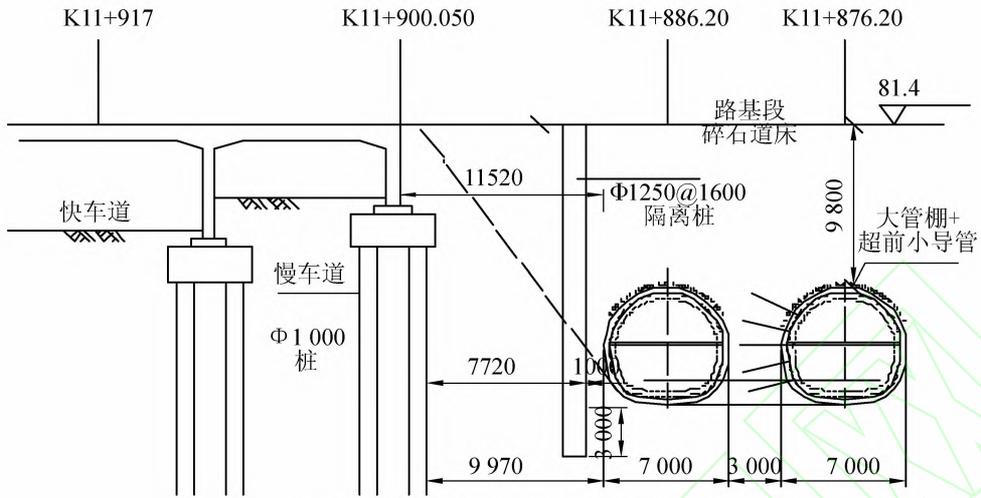
### 2.2 施工风险分析

工程主要环境风险源为:

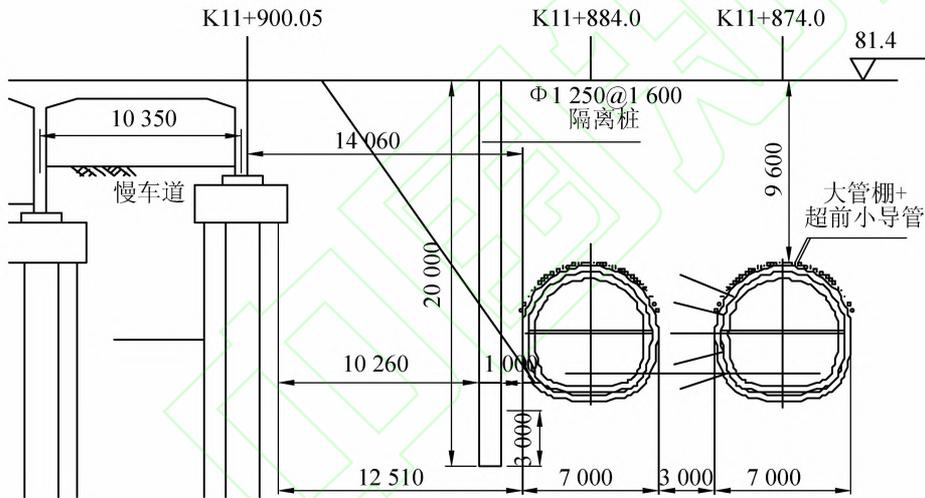
- (1) 石家庄西环线下行铁路跨中山西路铁路桥为三跨简支梁桥, 扩大基础。道床为碎石道床。矿山法区间与桥台净距约 8.6 m, 路基段覆土约 10.0 m。如图 4(a)。
- (2) 石太引入线下行铁路跨中山西路铁路桥为框架式连续梁桥, 下部为桩基, 桩长 25 m。道床为碎石道床。暗挖区间与桥桩最小净距约 9.97 m, 路基段覆土约 9.8 m。如图 4(b)。
- (3) 石太引入线上行铁路跨中山西路铁路桥为框架式连续梁桥, 下部为桩基, 桩长 25 m。道床为碎石道床。暗挖区间与桥桩最小净距约 12.51 m, 路基段覆土约 9.6 m。如图 4(c)。
- (4) 石家庄西环线上行铁路跨石太铁路桥在中山西路处为 32 + 48 + 32 三跨连续梁桥, 下部为桩基, 桩长 32 m。道床为碎石道床。区间与桥桩最小净距约 4.74 m, 覆土约 9.2 m。如图 4(d)。
- (5) 接触网线杆位于区间上方, 与区间净距约 2.8 m; 信号灯位于区间上方; 供电线杆位于两区间之间。



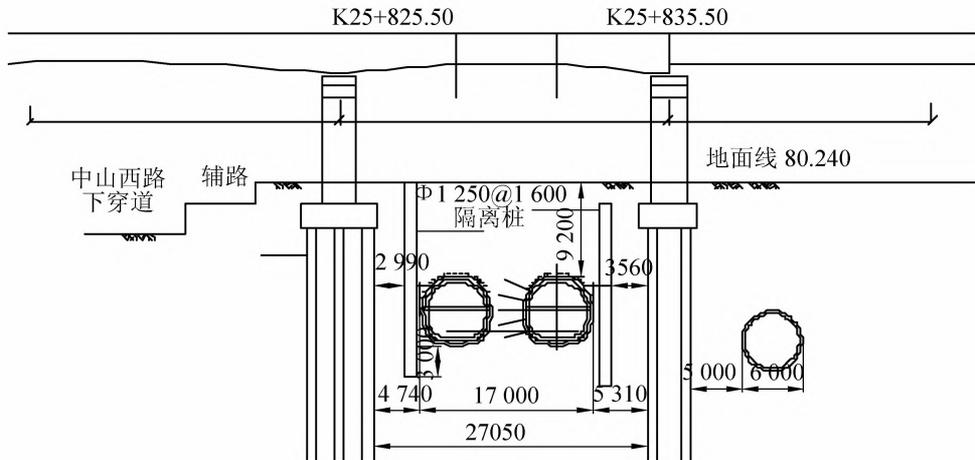
(a)西环线下行铁路与区间隧道位置关系



(b)石太引入线下行铁路与区间隧道位置关系



(c)石太引入线上行铁路与区间隧道位置关系



(d)西环线上行铁路与区间隧道位置关系

图 4 区间下穿铁路剖面示意图(单位:mm)

### 3 施工对策研究

张西区间隧道下穿铁路施工对铁路的影响过程为:隧道开挖扰动→洞周土体原有应力改变→地层变形向外传递→作用于铁路→路基、桥梁及轨道变形。对于铁路运营安全风险而言,隧道开挖是诱导因素,地层变形是传播途径,铁路路基、桥梁及轨道变形是最终表现形式。因此,从隧道施工对既有铁路的影响过程出发,应从隧道开挖、地层变形传播及铁路保护3个方面采取针对性的专项措施。

#### 3.1 洞内控制措施

##### 3.1.1 大管棚与小导管超前预支护

大管棚为 $\Phi 108$  mm、 $t=6$  mm 热轧无缝钢管,布设在隧道拱部范围内,环向间距400 mm,距开挖轮廓线30 cm,采用6 m的管节。钢管上钻注浆孔,孔径 $\Phi 10$  mm,孔间距150 mm,呈梅花形布置。管内注入水泥浆,钢管尾部2.0 m不钻花孔作为止浆段。打设时采用跳打3~5孔。根据地质情况,终孔后封堵管口,浆液从 $\Phi 108$  mm钢管内注入,由管外环状间隙到孔口反出水泥浆,关闭排浆阀,持续加压注浆至0.5~1.0 MPa,注浆结束,水泥浆液水灰比为1:1。

超前小导管采用长2 m的 $\Phi 42 \times 3.2$  mm 普通钢管,环向间距0.3 m,外插角 $20^\circ \sim 25^\circ$ 。小导管沿拱部 $150^\circ$ 范围内环向布置,隔榫设置并注入水泥-水玻璃双液浆,注浆压力控制在0.3~1.0 MPa,注浆量、配比根据现场实验确定。当拱部位于粉质粘土层时,小导管进行填充注浆;小导管位于砂层时,注浆扩散半径不小于0.25 m。每米小导管注浆量约 $0.074 \text{ m}^3$ 。

##### 3.1.2 台阶法开挖

施工中严格遵守“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测”十八字方针。施工顺序(图5)说明如下:

(a)先施工左线拱部大管棚和超前小导管。

(b)开挖上台阶,预留核心土,施作初期支护。核心土面积不小于开挖断面的50%,上下台阶错距15~20 m,下台阶土方开挖完毕后及时将上下格栅封闭,并及时喷射混凝土;同时核心土需进行人工放坡,其坡度不得小于1:0.7(高宽比),严禁出现负坡。按照距离拱顶1.5 m,距离侧墙0.8 m,打设2根锁脚锚管,注入水泥-水玻璃双液浆。

(c)开挖核心土,施作临时仰拱,径向小导管加固左线区间与右线之间的土体。径向小导管采用长3 m的 $\Phi 42 \times 3.25$  mm 普通钢管,环向间距1 m。

(d)下台阶土方开挖,施作初期支护,径向小导管加固土体,上下台阶间距错开15~20 m。

(e)敷设底板防水层及混凝土保护层,施工底板结构。

(f)根据监控量测结果,15 m一段分段凿除临时仰拱,施工拱墙及拱顶防水层、二衬结构。

(g)右线区间施工步序与左线一致。左线初支与右线初支相错30~35 m;左右线施工二衬时,分段拆除临时仰拱支撑间距15~20 m。

开挖进尺长度为0.5 m,严禁超挖,不准超挖和一次挖取两榫格栅土体,且不准掏挖核心土,从上至下、分步、分块开挖。

##### 3.1.3 背后注浆

初期支护施工时拱部预埋 $\Phi 32$  mm钢管,长0.5 m,注浆沿隧道拱部及边墙布置,环向间距:起拱线以上1 m,边墙为2 m,纵向间距2 m,梅花形布置。注浆压力0.2~0.5 MPa,浆液采用水泥浆。二衬在模筑时预埋注浆管,对二衬背后回填注浆,注浆压力控制在0.2 MPa以内。

#### 3.2 地层控制措施

主要采用桩基施工对地层加固,进而减小施工过程中对周边环境的影响。区间临近石家庄西环线下行铁路桥、石太引入线上、下行铁路桥段,在区间与铁路桥之间设置 $\Phi 1250 @ 1600$ 的人工挖孔桩进行隔离,隔离桩嵌固深度3.0 m,桩长20 m;区间临近石家庄西环线上行铁路桥墩111、112号,在区间与铁路桥桩之间设置 $\Phi 800 @ 1000$ 的钻孔灌注桩进行隔离,隔离桩与桥桩净距约3.44 m,嵌固深度3.0 m,桩长

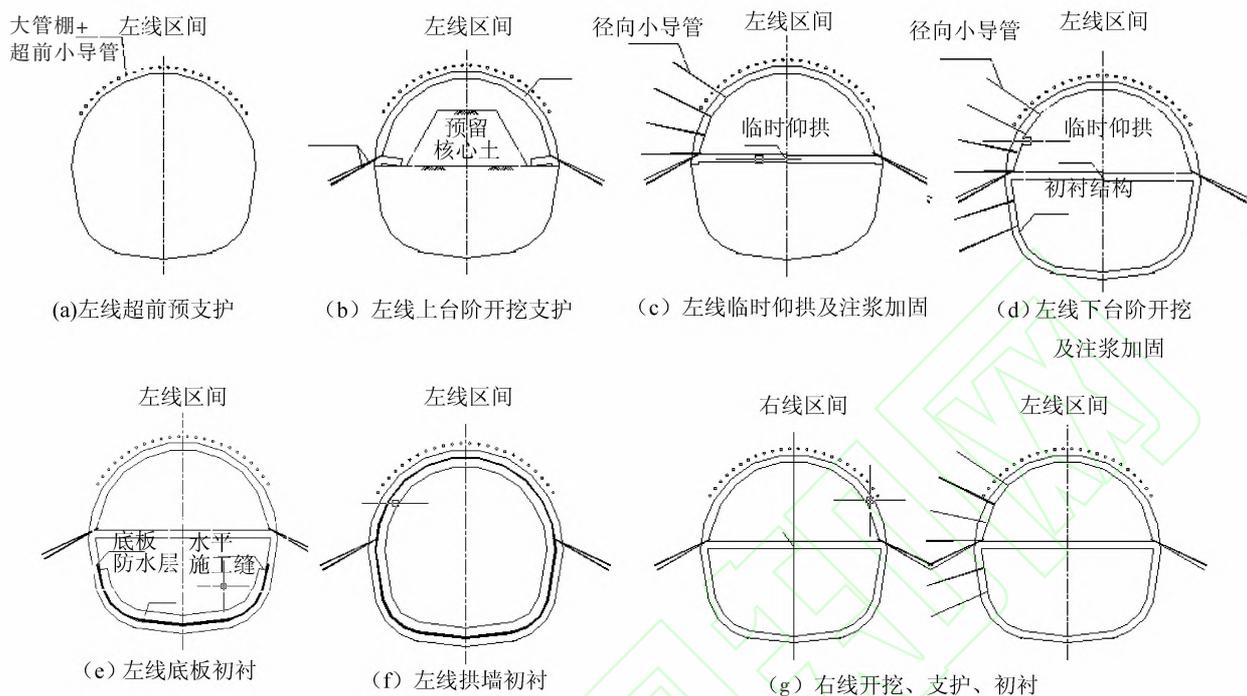


图 5 开挖步序

17.2 m。此外,在石家庄西环线下行铁路桥桥台下方预埋注浆管,以便在监测数据发生异常时能够及时进行注浆加固土层。对于隧道开挖影响区域内每个接触网杆、信号灯,则采用护桩法对其进行加固。

### 3.3 铁路控制措施

(1)铁路扣轨措施。铁路轨道采取扣轨措施,避免轨道不均匀沉降或沉降过大,铁路路基段 3 条铁路线扣轨加固长度各为 70 m。扣轨梁采用 50 kg/m 的钢轨,组装方式为 3-5-3 扣,钢轨接头须错开 1m 以上,两端与纵梁平齐,并加设临时梭头,与其下面的枕木用 U 型螺栓和角钢连在一起增强其整体性,并设轨距杆。

(2)及时调整道床高度。加强监控量测,若施工过程中轨面沉降过大,应清筛道床、补充道碴,调整道床及轨道高度至设计高程。

(3)铁路限速措施。本工程实施阶段,当隧道开挖至铁路影响范围时,应对铁路实施限速(最高 45 km/h);铁路限速时间约 190 d,其中区间左线施工时间约 80 d,右线施工时间约 80 d,左、右线分期施工。

## 4 结论

松散地层浅埋小净距地铁区间隧道下穿既有铁路多股道施工安全风险高,通过分析工程特点及施工风险,从隧道施工对铁路影响过程出发,研究确定了分别从隧道开挖洞内控制、地层变形传播控制及铁路保护控制 3 个方面采取针对性的专项措施,施工中严格控制每个工序和控制环节,确保铁路运营安全和隧道施工安全。控制重点如下:

(1)严格控制大管棚和小导管超前支护施工质量,注浆改善地层参数,提高掌子面前方的土体强度,增加其自稳能力。

(2)分部分阶段开挖,加强洞内支护,施作临时仰拱,特别是要保证中间土柱加固效果、锁脚锚杆打设数量和质量,以控制拱顶下沉,并通过背后注浆减小地表下沉。

(3)设置隔离桩抑制隧道开挖对铁路桥桩的扰动,并对铁路实行限速、扣轨、调整道床高度,是保证铁路正常运营的必要手段。

(4)加强监控量测,及时预警险情。

通过多项控制措施的实施,隧道下穿施工过程中,隧道下穿多股铁路过程中,铁路运营安全和隧道施

工安全可控,隧道结构稳定,无安全事故发生,风险控制措施有效地降低了对环境风险源的影响。

## 参 考 文 献

- [1] Burland J B, Standing J R, Jardine F M. Building response to tunneling case studies from construction of the Jubilee Line Extension London[J]. Thomas Telford Publishing, 2001(2): 509-545.
- [2] 赵立财. 浅埋大跨径软土地层公路隧道下穿既有铁路车站路基施工技术[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(6): 161-165.
- [3] 丁维利, 赵永明, 初厚永, 苏杰. 浅埋大断面黄土隧道下穿既有铁路施工技术[J]. 现代隧道技术, 2008, 45(6): 76-81.
- [4] 张文斌. 某新建轨道交通工程下穿既有高速铁路桥梁方案研究[J]. 铁道标准设计, 2005, 59(5): 82-85.
- [5] 高云娇, 娄国充, 宋杨. 铁路隧道下穿施工引起既有铁路线路变形规律研究[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2014, 27(1): 31-34.

## Risk Analysis and Countermeasures for Shallow Tunnels with Small Clear Distance Crossing Beneath Railways

Zhang Xuefeng, Wang Yanbing, Chen Yingpeng, Shi Xiaobo, Dong Yanzhao

(Shijiazhuang METRO Co. Ltd, Shijiazhuang 050000, China)

**Abstract:** Based on Zhang-Xi Section of the Line 1 project of Shijiazhuang Metro crossing under the existing railways, in view of its shallow buried depth, small clearance and other engineering features, this paper analyzes the causes of risks and harms, and puts forward control measures for in-hole control and existing railway control. Practice proves that risk analysis is reasonable and countermeasure is effective and the tunnel construction and railway operation safety is under control, which can provide reference for similar projects.

**Key words:** tunnel; cross beneath; railway; risk

(上接第48页)

## Behavior of Heterostructure for Improving Separation of Electron-hole Pairs in Semiconductor Photocatalyst

Zhang Zhifeng<sup>1</sup>, Zhang Yangyang<sup>1</sup>, Yang Guizhen<sup>1</sup>, Zhu Yahui<sup>1</sup>, Sun Xiuguo<sup>1,2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Hebei Provincial Key Laboratory of Traffic Engineering Materials, Shijiazhuang 050043, China)

**Abstract:** Compared to other methods, photocatalyst has tremendous advantage in processing and degrading organic pollutants in sanitary and industrial waste water in the aspect of catalytic activity efficiency, non-toxicity and recoverability. When the photocatalyst was radiated by UV light or visible light with the photon energy higher or equal to the band gaps of the photocatalyst, electrons and hole pairs were got and converse to vital oxidizability grains, hydroxyl radicals, so as to degrade industrial waste, such as dyes. Photogenerated electron-hole pairs can be easily recombined for the reason of crystal defects and intrinsic structures, decreasing the amount of hydroxyl radicals and lowering the photocatalytic activity. Heterostructure can accelerate the separation and prolongate the lifetime of photoinduced electron-holes, which is of vital significance for the photocatalytic activity.

**Key words:** photocatalyst; heterostructure; electron-hole pairs; photodegradation