

# 郑州轨道交通环线 盾构施工关键技术

何 况 严文荣 郭 春 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

郑州轨道交通环线盾构施工关键技术 / 何况, 严文荣, 郭春著. —成都: 西南交通大学出版社, 2022.1  
ISBN 978-7-5643-8343-5

I. ①郑… II. ①何… ②严… ③郭… III. ①城市铁路—轨道交通—铁路环线—隧道施工—盾构法—研究—郑州 IV. ①U239.5②U455.43

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 220070 号

---

Zhengzhou Guidao Jiaotong Huanxian Dungou Shigong Guanjian Jishu  
郑州轨道交通环线盾构施工关键技术

何 况 严文荣 郭 春 著

---

责任编辑	杨 勇
封面设计	何东琳设计工作室 西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码	610031
网 址	<a href="http://www.xnjdcbs.com">http://www.xnjdcbs.com</a>
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成 品 尺 寸	185 mm × 260 mm
印 张	17.5
字 数	374 千
版 次	2022 年 1 月第 1 版
印 次	2022 年 1 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-8343-5
定 价	115.00 元

---

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

首尾闭合的独立轨道交通环线具有可以便利环线周边近远郊生活起居区域之间与城市各大副中心的换乘客流等功能，中国已经全线投入商业（试）运营的首尾闭合的独立轨道交通环线有北京地铁 2 号线、上海地铁 4 号线、北京地铁 10 号线、成都地铁 7 号线、郑州地铁 5 号线等，另有多条环线已批复、在建或纳入规划。

郑州地铁 5 号线为中原地区首个轨道交通环线，工程线路全长 40.433 km，均为地下线。全线设站 32 座，其中换乘站 18 座，与线网中的 1、2、3、4、6、7、8、9、10、11、12 号线衔接换乘，起止于西站街站。线路沿黄河路、黄河东路、商务外环路、龙湖外环路、盛和街、心怡路、经开第十大街、航海路、桐柏路和西站路布置，属于城市核心区外围边缘的环形线路，覆盖城市东北半环客流走廊和西南半环客流走廊，联系新客站片区、郑东片区、金水中原片区、西北片区、西部服务片区、中原二七片区、管城片区、经开片区，为核心区外围各功能片区间提供联系。全线设中州大道车辆段和五龙口停车场各 1 座。平均站间距约 1.26 km，采用 A 型车 6 辆编组，最高运行速度为 80 km/h。

城市轨道交通环线通常具有工程地质复杂、建筑结构多样、周边影响显著等特点。郑州市的地质条件与北京、上海、广州等城市的地质条件不同，在采用盾构法施工时存在很多的工程技术问题需要进行专门探索。

本书结合国家重点研发计划——城市地下空间开发建造理论和方法（2019YFC0605104）开展研究，从盾构下穿河流、下穿复杂建筑物、穿越既有建筑物基坑锚索区域、下穿铁路既有线、桩基托换技术、钙质胶结软硬相间地

段盾构掘进技术、长距离穿越粉砂层盾构掘进技术、富水砂层盾构掘进技术等多方面进行研究,结合数值模拟方法和现场试验,获得的技术成果在实际工程中得到成功应用,解决了地层、临近建筑物在复杂盾构施工环境中的沉降控制和建筑保护的技术难题,形成了一套完整的施工技术体系,取得了良好的经济效益和社会效益,可为今后轨道交通行业的发展提供技术参考。

本项研究主要参与单位包括郑州地铁集团有限公司、西南交通大学、中铁一局、中铁三局、中铁四局、中铁六局、中铁七局、中铁十一局、中铁十二局、中铁十四局、中铁十五局、中铁十八局、中铁隧道局、郑州一建集团有限公司、中铁装备集团、成都西南交通大学设计研究院有限公司、四川势通土木工程有限公司等,主要研究人员有孙立光、申继鹏、周凤印、路耀平、赵世永、杨培仕、李明、路建民、陈文、赵建胜、刘俊洋、李红福、龙程、姚智慧、孙立军、王正莉、于伟光、王瑜、冯林峰、付魁、田班虎、毕永涛、王鹏、韩延波、刘海飞、马云鹏、汪先国、赵英群、张永泉、武坤朋、胡莘、王学沛、张金光、周熠、赵俊良、王西俭、左春辉、许晓光、康延铭、郭波前、张凯、张科、陈政、谌桂舟、高宾、王宇航、陈光、杨丹诚、钟祥林等,特此表示感谢。

著 者

2021年5月



# 目 录

第 1 章	项目概况 .....	001
1.1	线网规划 .....	001
1.2	轨道交通 5 号线工程概况及走向 .....	001
1.3	地质水文情况 .....	002
第 2 章	项目重难点 .....	006
2.1	典型风险源 .....	006
2.2	工程风险源详表 .....	009
第 3 章	盾构下穿河流技术 .....	014
3.1	工程背景 .....	014
3.2	下穿河流对盾构施工的影响研究 .....	015
3.3	渣土改良方案及试验研究 .....	017
3.4	下穿河流盾构掘进安全控制技术研究 .....	021
3.5	技术成果及应用 .....	032
第 4 章	盾构下穿复杂建筑物技术 .....	033
4.1	工程背景 .....	033
4.2	盾构施工对下穿建筑物的影响研究 .....	037
4.3	盾构下穿复杂建筑物监控量测技术研究 .....	046
4.4	盾构下穿复杂建筑物时沉降控制技术研究 .....	053
4.5	盾构下穿复杂建筑物掘进参数研究 .....	059
4.6	盾构下穿复杂建筑物整体安全性分析 .....	065
4.7	技术成果及应用 .....	067
第 5 章	盾构穿越既有建筑物基坑锚索区域技术 .....	069
5.1	工程背景 .....	069
5.2	锚索拔除施工方法及工艺要求 .....	072
5.3	盾构穿越既有建筑物基坑锚索区域安全性分析 .....	081
5.4	技术成果及应用 .....	111
第 6 章	盾构下穿铁路既有线技术 .....	114
6.1	工程背景 .....	114
6.2	盾构下穿对铁路既有线的影响研究 .....	116
6.3	盾构下穿铁路既有线监控量测技术 .....	123
6.4	盾构下穿铁路既有线整体安全性保障措施 .....	132
6.5	技术成果及应用 .....	136

第 7 章 盾构下穿桥梁技术 .....	137
7.1 工程背景 .....	137
7.2 桥梁桩基对盾构掘进的影响分析 .....	139
7.3 桩基托换方法及步骤 .....	139
7.4 桩基托换控制参数计算与分析 .....	168
7.5 技术成果及应用 .....	176
第 8 章 钙质胶结软硬相间地段盾构掘进技术 .....	177
8.1 工程背景 .....	177
8.2 钙质胶结软硬相间地段对盾构掘进影响机理分析 .....	178
8.3 钙质胶结软硬相间地段盾构掘进模式及参数研究 .....	185
8.4 渣土改良方案及试验研究 .....	190
8.5 钙质胶结软硬相间地段盾构掘进对环境影响的数值模拟分析 .....	192
8.6 钙质胶结软硬相间地段盾构掘进安全控制技术研究 .....	198
8.7 技术成果及应用 .....	200
第 9 章 长距离穿越粉砂层盾构掘进技术 .....	202
9.1 工程背景 .....	202
9.2 粉砂地层长距离盾构掘进风险分析 .....	206
9.3 长距离穿越粉砂层盾构掘进对环境影响的数值模拟分析 .....	208
9.4 长距离穿越粉砂层盾构掘进模式及参数研究 .....	213
9.5 长距离穿越粉砂层盾构掘进安全控制技术研究 .....	219
9.6 技术成果及应用 .....	220
第 10 章 富水砂层盾构掘进技术 .....	227
10.1 工程背景 .....	227
10.2 富水砂层对盾构掘进影响机理分析 .....	230
10.3 富水砂层盾构进出洞施工技术 .....	231
10.4 富水砂层盾构端头降水技术 .....	247
10.5 富水砂层盾构掘进注浆加固方法及控制参数研究 .....	249
10.6 富水砂层盾构掘进安全控制方法及优化措施研究 .....	254
10.7 技术成果及应用 .....	263
第 11 章 环线盾构施工技术展望 .....	264
参考文献 .....	268



## 1.1 线网规划

郑州市轨道交通远景年线网方案由 21 条线路组成，总长 970.9 km，其中地铁线 13 条共 505 km，市域快线 8 条共 466 km。国家发改委于 2019 年 3 月批复《郑州市城市轨道交通第三期建设规划（2019—2024 年）》（发改基础〔2019〕599 号文），此建设规划包含 3 号线二期、6 号线一期、7 号线一期、8 号线一期、10 号线一期、12 号线一期、14 号线一期共 7 个项目，总长 159.6 km。项目建成后，郑州市将形成总长约 326.54 km 的轨道交通网络。如图 1.1.1 所示。

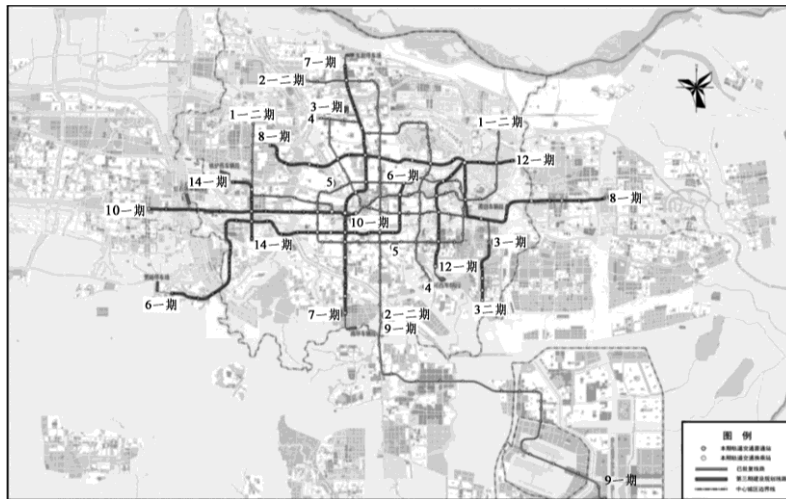


图 1.1.1 郑州市城市轨道交通线网规划图

## 1.2 轨道交通 5 号线工程概况及走向

### 1.2.1 线路概况

郑州市轨道交通 5 号线工程线路全长 40.433 km，均为地下线。全线设站 32 座，其中换乘站 18 座，与线网中的 1、2、3、4、6、7、8、9、10、11、12 号线衔接换乘。全线设中州大道车辆段和五龙口停车场各 1 座。平均站间距约 1.26 km。初步设计概算约 321.39 亿元。采用 A 型车 6 辆编组，初期配属电客车 39 列/234 辆。系统最大能力 30

对/h，最高运行速度 80 km/h，线路旅行速度 35.9 km/h，最小间隔 120 s。如图 1.2.1。

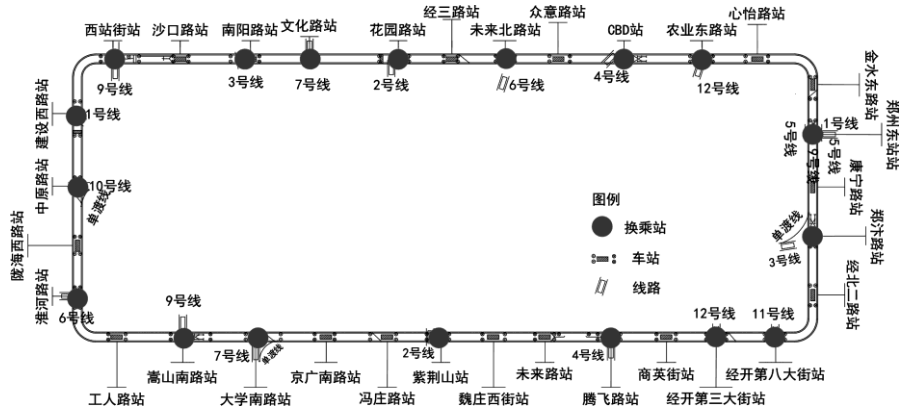


图 1.2.1 工程线路走向示意图

## 1.2.2 工程走向

郑州市轨道交通 5 号线工程为环线，起止于西站街站，线路沿黄河路、黄河东路、商务外环路、龙湖外环路、盛和街、心怡路、经开第十大街、航海路、桐柏路和西站路布置，属于城市核心区外围边缘的环形线路，覆盖城市东北半环客流走廊和西南半环客流走廊，联系新客站片区、郑东片区、金水中原片区、西北片区、西部服务片区、中原二七片区、管城片区、经开片区，为核心区外围各功能片区间提供联系。

## 1.3 地质水文情况

### 1.3.1 地质情况

#### 1. 地形地貌

郑州位于东经 112°42' ~ 114°13'，北纬 34°16' ~ 34°58'，总面积约 7 446.2 km<sup>2</sup>，北临黄河，西依嵩山，东南为广阔的黄淮平原。郑州市横跨中国二、三级地貌台阶，西南部嵩山属第二级地貌台阶前缘，东部平原为第三级地貌台阶的组成部分。郑州地区位于丘陵岗地与泛滥平原相交接地带，为华北平原的一部分，地势比较平坦，地势由西南向东北倾斜。

本工程大致以京广铁路为界分为东部堆积地貌和西部侵蚀堆积地貌，东部堆积地貌由黄河冲击平原和风积沙丘、沙地组成，西部侵蚀堆积地貌由黄土台塬前冲积岗地和山前冲积缓倾平原组成。郑州市区出露地层全部为第四系地层，据区域地质资料报告，各地质分区的地层岩性分布地质主要以粉土、粉质黏土、细砂、粉砂、中砂组成。

#### 2. 地层岩性

郑州市区均为第四系地层覆盖，自下更新统至全新统均有沉积，地层总厚度 50 ~ 200 m，自西南向东北由薄变厚，粉砂、细砂，17 ~ 35 m 主要地层为中密—密实粉砂和细砂。

场地 35 ~ 50 m 主要为第四系上更新统 (Q<sub>3</sub>) 粉质黏土 (可塑—硬塑)、粉细砂 (密实)，以黄色、黄褐色为主，含少量钙核、铁质锈斑。

场地 50 m 以下揭露的地层主要为第四系中更新统 (Q<sub>2</sub>) 粉质黏土 (硬塑—坚硬)，颜色以棕红色、褐黄色为主，含少量钙核、铁锰质结合体等。

### 3. 地层概况

根据岩土的时代成因、地层岩性及工程特性，本场地勘探揭露深度范围内地层岩性主要为人工填土、粉土、粉质黏土、粉砂、细砂等，在场地内及其附近亦未发现对工程安全有影响的诸如岩溶、滑坡、崩塌、塌陷、采空区、地裂等不良地质作用。

### 4. 地层物理力学参数

地层物理力学参数如表 1.3.1 所示。

表 1.3.1 郑州市轨道交通 5 号线工程盾构下穿地层物理力学参数表

岩土编号	岩土名称	天然重度/(kN/m <sup>3</sup> )	含水率/%	孔隙比	黏聚力/kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa	侧压力系数
② <sub>35</sub>	黏质粉土	19.6 ~ 20.2	14.2 ~ 22.3	0.54 ~ 0.65	18.5 ~ 25.0	6.0 ~ 10.0	9.5 ~ 20.0	0.40 ~ 0.43
② <sub>36</sub>	砂质粉土	19.8 ~ 20.7	18.3 ~ 19.3	0.58 ~ 0.64	24.0 ~ 26.0	12.0 ~ 13.5	12.0 ~ 18.0	0.41 ~ 0.42
② <sub>36C</sub>	粉砂	20.0 ~ 21.0			25.0 ~ 28.0	15.0 ~ 18.0		0.36 ~ 0.41
② <sub>51</sub>	细砂	19.0 ~ 20.0			26.0 ~ 28.0	18.1 ~ 22.0		0.36 ~ 0.38
② <sub>52</sub>	细砂	19.4 ~ 20.0			28.0 ~ 30.0	22.0 ~ 32.0		0.34 ~ 0.38
② <sub>52A</sub>	黏质粉土	20.0 ~ 21.9	17.7 ~ 22.5	0.52 ~ 0.64	16.7 ~ 25.5	9.0 ~ 22.5	8.4 ~ 25.0	0.40 ~ 0.42
③ <sub>22</sub>	粉质黏土	19.2 ~ 19.7	14.3 ~ 25.7	0.62 ~ 0.63	26.6 ~ 41.0	10.0 ~ 7.6	7.8 ~ 11.5	0.40 ~ 0.43
③ <sub>23</sub>	黏质粉土	19.1 ~ 19.6	20.4 ~ 24.5	0.60 ~ 0.74	23.6 ~ 38.8	10.9 ~ 17.0	9.2 ~ 12.5	0.40 ~ 0.43
③ <sub>34A</sub>	黏质粉土	17.4 ~ 18.4	15.4 ~ 17.4	0.61 ~ 0.71	13.8 ~ 18.5	18.5 ~ 22.5	9.0 ~ 11.0	0.43 ~ 0.45
③ <sub>34</sub>	黏质粉土	18.0 ~ 19.2	16.4 ~ 17.8	0.60 ~ 0.63	12.5 ~ 20.5	20.3 ~ 24.0	12.8 ~ 15.5	0.38 ~ 0.41
③ <sub>35</sub>	黏质粉土	18.7 ~ 19.4	19.6 ~ 22.1	0.67 ~ 0.70	11.5 ~ 18.0	21.0 ~ 26.0	11.5 ~ 16.0	0.36 ~ 0.43

### 1.3.2 水文地质

#### 1. 气象

郑州市轨道交通 5 号线工程沿线属北温带大陆性季风气候区，具有半干旱、半湿润特征，春季干旱多风沙，夏季炎热多雨，秋季凉爽，冬季干冷多风，雨雪稀少，四季分明，干湿明显。郑州市的干燥度指数  $k$  值小于 1.5，属湿润区。

据 1957 年—2005 年的气象资料，历年平均气温为 14.4 °C，平均月最高气温为 20 °C，平均月最低气温为 9 °C，绝对最高气温为 43.0 °C（1966 年 7 月 19 日），绝对最低气温 -17.9 °C（1955 年 1 月 2 日和 1971 年 12 月 27 日）。年最大降水量 1 041.3 mm（1964 年），年最小降水量 349.3 mm；日最大降水量 150 mm，部分地区达 200 mm；降水多集中在 7—9 月，降水量 353.9 mm，占全年降水量的 55%，1 月、2 月、12 月三个月降水量仅 30.2 mm，占全年降水量不足 5%。多年平均蒸发量为 1 853.2 mm；多年平均相对湿度 66%。具体见表 1.3.2。

表 1.3.2 近 50 年累计年月平均总降水量

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均降水量/mm	8.8	12.0	28.5	39.6	58.0	62.8	155.5	112.5	77.4	45.1	22.3	9.8

郑州市为多风地区，多年平均风速为 2.8~3.2 m/s，最大平均风速为 22.0 m/s。冬季主导风向为东北风和西北风，夏秋多东南风、南风。霜期为 10 月至次年 4 月，有霜期为 110~174 d。年平均降雪 11 cm，最大厚度达 20 cm。历年最大冻土深度 27 cm。

#### 2. 区域地下水

根据地下水介质特征和埋藏赋存条件，郑州地区地下水类型主要为松散岩类孔隙水。按含水层埋深情况，可分为浅水含水层组和深水含水层组，浅层含水层组是指含水层底板埋深小于 60 m 的地下水，中深层含水层组是指顶板埋深 50~100 m、底板埋深 220~280 m 的地下水。

郑州市中心城区中深层地下水降落漏斗的形成和发展，主要受开采量的控制，中深层地下水开采形成的降落漏斗，分布在郑州市中心城区范围，西起四环路、东到 107 国道，北到连霍高速公路，南至南三环。漏斗中心区位于陇海东路汽车制造厂，漏斗区内最低水位标高 17.5 m，漏斗面积约 72 km<sup>2</sup>。中深层地下水接受浅层地下水的越流补给及侧向径流补给。排泄以开采、径流为主，排泄方向由非降落漏斗区向降落漏斗区。

#### 3. 场地地下水

本线路沿线所在场地地下水主要为孔隙潜水，第一层地下水呈局部分布，高程为

77.70 ~ 90.00 m, 主要赋存于②<sub>34</sub>黏质粉土中, 预计水量不大; 第二层地下水为微承压水, 高程为 69 ~ 71.11 m, 主要赋存于②<sub>36C</sub>层粉砂与②<sub>51</sub>层细砂和②<sub>52</sub>层细砂层中。

#### 4. 地下水的补给、径流、排泄条件、水位及其动态特征

(1) 地下水的补给: 本段沿线地下水的补给源主要为大气降水、河流下渗补给。

(2) 地下水的径流: 本段沿线内地下水的径流主要受城区浅层地下水降落漏斗的影响, 浅层地下水的天然流向是由西南向东北。但由于受开采的影响, 径流方向可发生局部改变。

(3) 地下水的排泄: 本段场地地下水排泄方式主要是以开采、地下径流为主。工程地质分段评价如表 1.3.3 所示。

表 1.3.3 工程地质分段评价

序号	里程段	区间	工程地质水文评价
1	K38+902.0 ~ K13+848.6	建设西路站—西站街站区间、西站街站—沙口路站区间、沙口路站—南阳路站区间、南阳路站—文化路站区间、文化路站—花园路站区间、花园路站—经三路站区间、经三路站—未来北路区间、未来北路站—众意路站区间、众意路站—CBD 站区间、CBD 站—农业东路站区间、农业东路站—心怡路站区间	水文地质简单, 本段线路所在场地地下水主要为孔隙潜水, 隧道位于地下水水位以上。沿线地下水的补给源主要为大气降水补给。隧道围岩基本分级为 V 级, 盾构隧道主要穿越在黏质粉土、细砂层中, 易产生流土现象, 从而降低土层结构强度, 土体自稳能力较差, 内部应力重分布发生的土体变形反应较为迅速, 但地层天然地基承载力较高
2	K14 ~ K27 + 730.799	心怡路站—金水东路站区间、金水东路站—郑州东站区间、郑州东站—康宁路站区间、康宁路站—郑汴路站区间、郑汴路站—经北二路站区间、经北二路站—经开第八大街站区间、经开第八大街站—经开第三大街站区间、经开第三大街站—商英街站区间、商英街站—腾飞路站区间、腾飞路站—未来路站区间、未来路站—魏庄西街站区间	水文地质简单, 地下水主要为孔隙潜水, 隧道段水量小。本段沿线地下水的补给源主要为大气降水、河流下渗补给。隧道围岩基本分级为 VI 级, 自北向南分别位于粉砂、细砂和黏质粉土中, 预计可满足基础的承载力和变形要求, 以上地层可作为隧道结构基础的天然地基持力层
3	K27+730.799 ~ K38+902	魏庄西街站—紫荆山路站区间、紫荆山路站—冯庄路站区间、冯庄路站—京广南路站区间、京广南路站—大学南路站区间、大学南路站—嵩山南路站区间、嵩山南路站—工人路站区间、工人路站—淮河路站区间、淮河路站—陇海西路站区间、陇海西路站—中原路站区间、中原路站—建设西路站区间	水文地质简单, 本场地地下水类型为第四纪松散岩类孔隙潜水, 地下水补给主要有降水入渗、地表水下渗、地下水侧向径流等补给, 隧道围岩基本分级为 VI 级。隧道穿越地层为黏质粉土、粉砂、粉质黏土。其地基承载力满足上部结构荷载要求, 工程性质良好, 可作为区间隧道基础的天然地基持力层

郑州市轨道交通 5 号线工程自 2014 年 12 月 29 日开工建设以来克服工程施工难度大, 站点周边施工环境复杂、安全风险高等不利因素, 全力破解了征地拆迁、管线迁改、苗木移植、市政设施迁移、交通疏解等障碍性因素, 顺利完成下穿铁路 11 次、河流 10 次、房屋 27 座, 大断面暗挖 2 处。其中: 出入段线破解了国内少见的小曲线半径 (最小 230 m) 盾构下穿房屋、350 m 半径曲线浅埋下穿陇海铁路正线 (共 18 股道) 等技术难点和重大风险; 未来北路站在既有立交桥下成功完成大断面双洞暗挖施工; 西站街站至沙口路站区间连续穿越郑北编组站股道及箱涵等多个铁路既有设施; 郑汴路站至经北二路站区间穿越陇海铁路和京广高铁特大桥; 商英街站至腾飞路站区间下穿十七里河; 花园路站—经三路站区间长距离穿越老旧危房等。这些技术难题和重大风险的攻克, 有力地保证了 5 号线工程具备初期开通条件。

## 2.1 典型风险源

### 2.1.1 下穿铁路

郑州轨道 5 号线下穿圃田西站 18 股路基段、陇海铁路、石武客专等重点铁路设施, 存在线路较多且地下各种电缆线、管线较多的风险源:

(1) 盾构隧道的施工会引起地层的扰动而造成地表的差异沉降, 再加之铁路行车的振动, 不利于开挖面的稳定。为保障铁路的安全及平稳运行, 将盾构施工对其影响降低到最小是必须遵循的施工准则。

(2) 盾构下穿段隧道开挖断面下部为粉细砂层, 粉细砂层自稳性差, 盾构开挖过程中的上部粉细砂层可能造成地面沉降加大。

(3) 如果盾构姿态控制不好, 容易产生超挖从而导致地表沉降过大。

(4) 通信发射塔及接触网塔是铁路运输信号发射的中枢, 起纽带作用。盾构隧道沉降直接影响铁路整个的运营。

(5) 盾构隧道下穿期间地面沉降允许值为 $\leq 30$  mm, 在采取措施的条件下可以控制到 10 mm 左右, 但盾构下穿运行中的既有线路来往列车产生的动荷载对地表沉降影响较大, 普通措施无法控制到 10 mm。

在郑州轨道 5 号线出入段下穿圃田西站时, 需对铁路路基进行上线加固, 工程施

工具有特殊性：

(1) 一般施工单位缺少类似营业线施工的经验，在铁路封锁、慢行方面协调困难，缺乏与铁路各站段的配合经验，相关手续办理困难。

(2) 一般施工单位没有铁路架空所需的专用便梁、专用轨道运输平板车和吊装设备，且此类设施市场租赁来源少。

(3) 每年 7—9 月为汛期，按照铁路局要求，“路外单位”不能在汛期进行涉及营业线路基方面的施工。

### 2.1.2 下穿河流

盾构穿越河流，极易引起河堤及河底沉降、喷涌、盾尾漏水、漏砂等问题。本工程中，多个区间穿越河流，以上问题尤为明显，包括嵩山南路站—工人路站区间盾构下穿金水河、CBD 站—农业东路站区间盾构下穿昆丽河、农业东路站—心怡路站区间盾构下穿熊耳河、商英街站—腾飞路站区间盾构下穿七里河等。

#### 1. 河堤及河底沉降

隧道开挖地层为全断面粉细砂层，隧顶覆有淤泥层，且河堤大多采用回填土，地层较松散，在盾构推力及刀盘扭矩作用下土体易发生扰动。如果掘进参数控制不合理，土仓与螺机进排土量不平衡，将会导致地层及地下水损失，致使地面产生沉降现象。

#### 2. 喷涌

盾构下穿河道时，地层含水量很大，在掘进过程中如果土压控制不当，对土体扰动过大，会造成河底隆起或沉降，从而形成水流通道。砂层在水流作用下成流体状进入土仓，随着仓内压力的增大，形成喷涌现象。

#### 3. 盾构铰接缝漏水、漏砂

盾构穿越河流时，如盾构姿态控制不当，盾构机易出现蛇形摆动现象，导致铰接油缸和推进油缸行程差过大，盾构铰接缝出现漏水、漏砂现象。

#### 4. 盾尾漏水、漏砂

盾尾密封主要是为了防止地下水和同步注浆浆液渗入盾构机，确保开挖面的稳定和盾构的正常掘进。管片拼装不居中、密封油脂注入量小、同步注浆压力过大等原因，容易造成盾尾漏水、漏砂。

### 2.1.3 下穿重点建筑物

郑州市轨道交通 5 号线工程共穿越房屋 27 座，隧道施工对建筑房屋的地基土有扰动，造成地基土的失稳引起地表隆沉，给房屋造成破坏；地表建筑物的存在，给隧道

施工造成了较大的影响，增加了施工难度。

河南省供销合作社家属院 23#、10#、11#住宅楼和综合楼，位于郑州市政六街一政七街间黄河路南邻，建造于 20 世纪 80 年代初，均为条形浅基础。由于综合楼拆改较为严重，影响到建筑的整体性，不能满足安全使用要求，房屋处于整体危险状态。23#和 11#一楼办公区进行改移，10#综合楼一楼、二楼拆改严重，施工前对一楼下进行加固。同时，11#楼南立面纵墙有 3 处较大面积渗水碱化，南立面纵墙二层竖向温度裂缝密集发育；23#楼南立面纵墙一层窗台以下位置竖向温度裂缝密集发育。建筑整体刚度劣化，均不符合《建筑抗震鉴定标准》要求。根据建筑基础探查结果，地基为粉土类土，地基土遭遇有压水头时存在流土流砂和振动液化的可能性。

深航商务办公楼，地上 25 层框架结构，地下 2 层采用筏板与桩基础结合的复杂基础，目前大楼已建成，原基坑深 10.7m，围护结构采用钻孔灌注桩+锚索（锚杆）体系。郑州轨道交通 5 号线心怡路站—金水东路站区间穿越时，侧穿区段隧道埋深 9.4~12 m，与深航商务办公楼地下室结构最小水平净距为 4.79 m。大楼西侧自上至下两道锚杆、两道锚索，2 层锚索侵入区间隧道内，盾构机遇到锚索，锚索有很强的韧性，在刀盘旋转过程中，极易绞入刀盘及土仓，将刀盘和螺旋机卡死，导致盾构机瘫痪。深航商务办公楼处于市区主干道路周边商业楼密集，地面埋设有天然气、给水管等管线，工期紧，需在较短时间拔除百余束锚索。

农业东路站—心怡路站区间位于郑东新区，在穿越爱东居项目时遇到 CFG 素桩群，CFG 桩为 C25 砼灌注桩，桩径 400 mm，桩间距 1 200 mm，有效桩长不小于 13 m，桩端进入持力层不小于 800 mm，桩基侵入盾构区间约 5.3 m 上部为空桩，CFG 素桩强度为 25~35 MPa，总桩数超过 600 根，受影响 CFG 桩超过 300 根。同时，此段为上软下硬地层，盾构机姿态难控制，容易产生抬头向下纠偏难。而且上部为空桩，极易塌方，出渣量不好控制。受爱东居项目影响，导致掘进缓慢，加剧对地层的扰动。

#### 2.1.4 小曲率半径施工、近接施工风险

盾构在小曲率半径施工过程中姿态难控制，容易引起土方超挖产生过量沉降，引起地面塌陷、管线破坏等事故。两台盾构机近接施工或与其他工程近接施工时，因结构间土层受强烈扰动，引起过量沉降带来结构或环境对象破坏。

郑州地铁 5 号线车辆段出入线（简称：出入段线）区间左线从腾飞路站引出，右线从未来路站引出，双线沿航海东路相向而行，线路至国香茶城西侧道路转向北，经石化路后下穿陇海铁路圃田西站，过铁路后线路继续向东转入中州大道车辆段。在中州大道车辆段出入线，受腾飞路站及未来路站的站位影响，出入线左右线均采用小半径曲线，由腾飞路站始发的左线盾构最小转弯半径为 230 m，由未来路站始发的右线盾构最小转弯半径为 250 m。由于普通的土压平衡盾构机在曲线隧道掘进时，管片与盾构机盾壳形成夹角，受夹角限制，隧道曲线半径不能过小，否则易造成管片安装困



难的问题。另外在曲线掘进时，普通盾构机依靠推进千斤顶分配不同的压力完成盾构机转弯，容易造成管片碎裂，盾壳与管片的间隙过小会影响盾构转弯姿态。

五龙口停车场出入线（简称：出入场线）右线长 2 844.678 m，最大纵坡为 34.5‰，平面最小曲线半径为 250 m，下穿郑州北站编组站。由于下坡掘进，物料运输耗时增加，停机风险加大，溜车风险增加，同时长距离掘进对施工通风要求进一步提高。加之小半径掘进和上方铁路的影响，掘进通过时盾构参数的控制、盾构姿态的调整难度增大。

## 2.2 工程风险源详表

### 2.2.1 区间自身风险源

郑州市轨道交通 5 号线区间共计 468 处自身风险源，其中 I 级风险源 0 个，II 级风险源 131 个，III、IV 级风险源合计 337 处。

表 2.2.1 为郑州市轨道交通 5 号线盾构区间自身重点风险源统计表。

表 2.2.1 5 号线区间自身重点风险源统计表

编号	风险源名称	风险源概况	风险等级	风险控制措施
01	盾构始发区段和到达区段	盾构始发或到达时，由于洞口附近土体的不稳定，易造成洞口外侧地面大量沉降。若此时端头加固的强度不达标，会造成大量的水土流失或土体坍塌	II 级	对洞口端头一定长度范围内的土体进行加固，加固措施采用旋喷桩。必要时，采用疏干井降水措施
02	矿山法施工的联络通道	矿山法联络通道在施工的过程中，由于外围土体加固未达标或一次开挖步距过大等因素，会引起土体的塌落等事故	II 级	联络通道的设置尽量选择良好的地质及周边环境；施工时采用合理的开挖步距；开挖面及时支护并加强检测
03	风井	最深接收井为月季公园站出入场线，深度为 33 m。基坑在开挖的过程中，由于一次开挖深度过大或者支撑未及时支护，引起基坑坍塌等风险	II 级	加强基坑围护结构和内支撑体系，确保施工质量，加强监控量测，根据监测结果及时调整施工参数
04	区间矿山段	由于外围土体加固未达标或一次开挖步距过大等因素，会引起土体的塌落等事故	II 级	施工时采用合理的开挖步距；开挖面及时支护并加强检测

### 2.2.2 区间环境风险源

郑州市轨道交通 5 号线区间共计 415 处环境风险源，其中 I 级风险源 17 个，II 级风险源 75 个，III、IV 级风险源合计 323 处。

表 2.2.2 为郑州市轨道交通 5 号线盾构区间环境重点风险源统计表。

表 2.2.2 5 号线区间环境重点风险源统计表

编号	区间	风险源名称	风险源概况	风险等级	风险控制措施
01	文化路站—花园路站区间	省事务管理局 109 号院在建工地	此处为一栋建成后约 30 层的大厦在建工地，区间左右线均穿越工地北侧的锚索。盾构在侧穿该建筑的过程中，会切割建筑物基坑锚索，会扰动在建建筑物与区间隧道，且区间右线结构外缘与北侧围护桩间的净距只有 0.7 m。盾构拱顶覆土深度约 10.4 m。临近基坑深 7.90 m。盾构本身和该在建建筑工地的相互影响很大	Ⅱ级	加强沟通，提前拔出或切断锚索，跟踪注浆，隔断保护，基底加固等措施
		省塑料公司家属楼	家属楼距左线区间外轮廓以北约 3.3 m，砖混结构扩大基础，无地下室，无锚索，条形基础，盾构拱顶覆土深度约 10.3 m。盾构在侧穿该建筑的过程中，会扰动建筑物与结构间土体，对盾构本身和该建筑的安全均会产生不利影响	Ⅱ级	调整盾构掘进参数、加强同步注浆和二次注浆等措施
		中孚大厦	大厦距左线区间外轮廓以北约 3.04 m。13 层钢筋混凝土结构筏板基础。地下室为 1 层，标高为负 3.6 m，经走访，基坑采用放坡锚喷支护。盾构拱顶覆土深度约 10.5 m。盾构在侧穿该建筑的过程中产生的震动、对土层的扰动和对基坑外侧锚索可能产生切割等因素，会诱发该建筑产生裂缝和不均匀沉降等风险	Ⅱ级	1. 盾构施工姿态控制。 2. 地面注浆加固。 3. 预埋袖阀管跟踪注浆加固。 4. 盾构管片增加预埋注浆孔，加强二次注浆。 5. 建立完善的监控量测体系，并做好应急预案
		通讯设计院家属楼	盾构区间下穿该家属楼，拱顶距离地面的距离约为 11.61 m，家属楼混凝土结构 5 层，扩大基础，无地下室，无锚索。盾构拱顶覆土深度约 11.6 m。盾构在下穿该建筑的过程中产生的震动和对土层的扰动，会诱发该建筑产生裂缝和不均匀沉降等风险	Ⅱ级	调整盾构掘进参数、加强同步注浆和二次注浆等措施

续表

编号	区间	风险源名称	风险源概况	风险等级	风险控制措施
02	花园路站—经三路站区间	河南省供销社家属楼	盾构区间下穿该家属楼，其一楼拆改严重，构成C级危房，拱顶距离地面的距离约为8.52m，家属楼为5层砖混结构，条形基础，无锚索。盾构在下穿该建筑的过程中产生的震动和对土层的扰动，会诱发该建筑产生裂缝和均匀沉降等风险	I级	采用克泥效工法、隔断保护、基底加固等措施
03	经三路站—未来北路站区间	未来大道立交桥黄河路台和桥桩	区间右线结构外缘与北侧桩基间最近的距离为1.91m。盾构在侧穿该桥台和桥桩的过程中，会对其的沉降和裂缝产生不利影响	II级	调整盾构掘进参数、加强同步注浆和二次注浆等措施
		瀚海璞丽在建工地	此处为瀚海璞丽大厦在建工地，区间左右线均穿越工地南侧的锚索。盾构在侧穿该建筑的过程中，会切割建筑物基坑锚索，会扰动在建建筑物与区间隧道，且区间左线结构外缘与北侧围护桩间的净距现有资料不能准确反映，盾构拱顶覆土深度约10.9m。盾构在侧穿该建筑的过程中，会切割建筑物基坑锚索，会扰动建筑物与结构间土体，对盾构本身和该建筑均会产生不利影响	II级	加强沟通，提前拔出或切断锚索，跟踪注浆，隔断保护，基底加固等措施
		河南胸科医院北门东侧高层建筑	此处为一栋大厦在建工地，区间右线结构外缘与北侧围护桩间的净距现有资料不能准确反映。盾构拱顶覆土深度约15.0m。盾构在侧穿该建筑的过程中，会扰动建筑物与结构间土体，对盾构本身和该建筑的安全均会产生不利影响	II级	调整盾构掘进参数、加强同步注浆和二次注浆等措施
		新航快捷酒店	酒店位于区间南侧，距右线区间外轮廓约2.6m，混凝土结构19层，一层地下室，无锚索。盾构拱顶覆土深度约11.1m。盾构在侧穿该建筑的过程中，会扰动建筑物与结构间土体，对盾构本身和该建筑的安全均会产生不利影响	II级	调整盾构掘进参数、加强同步注浆和二次注浆等措施

续表

编号	区间	风险源名称	风险源概况	风险等级	风险控制措施
04	未来北路站—众意路站区间	聂庄公寓	盾构在侧穿该建筑的过程中,会扰动建筑物与结构间土体,对盾构本身和该建筑的安全均会产生不利影响	II级	加强沟通,提前拔出或切断锚索,跟踪注浆,隔断保护等措施
		未来大道立交桥中州大道西侧匝道的桥台和桥桩	盾构区间顶部覆土厚度11 m,盾构区间与桩承台的净距为9.1 m。左线区间下穿桥桩承台,承台长度为9.0 m,宽度为2.7 m,高度为4.6 m。左线区间正穿一桥桩,紧贴侧穿另一桥桩,桥桩的桩径1.5 m的桩孔灌注桩,桩长为34.6 m,穿越时需对桥桩进行桥桩托换续梁结构	I级	盾构施工前需对黄河路匝道的桥桩进行托换,托换时需考虑区间穿过时对新基础的影响。 盾构推进时需调整掘进参数、加强同步注浆和二次注浆等措施
		中州大道金水河桥的桥台和桥桩	盾构拱顶覆土深度约13.3 m,桥台和桥桩的系资料缺乏,盾构在侧穿该桥台和桥桩的过程中,会对该桥台和桥桩的沉降与裂缝产生不利影响	II级	跟踪注浆、隔断保护等措施
		金水河	区间拱顶距河底净距7.76 m,盾构在下穿该条河的过程中,水压的变化会对盾构及区间隧道产生不利影响	II级	加强盾构的同步注浆和二次注浆,隔断保护等措施
05	众意路—CBD站区间	下穿如意湖	盾构与河底距离约9.13 m,下穿该条河的过程中,由于水压的变化,会对盾构及区间隧道产生不利影响	II级	1. 盾构施工前,如有必要应先对河底以及河堤进行预加固。 2. 穿越过程中加强监控量测。
06	CBD站—农业东路站区间	下穿昆丽河	昆丽河河底宽约100 m,穿越昆丽河段区间结构距离河底最小净距为10.02~14.52 m,穿越地层主要为粉质黏土及细砂层,昆丽河底铺设膨润土防渗毯	II级	3. 为了防止盾构机下穿昆丽河时发生喷涌,需采取以下措施: a. 在水量较大的地段掘进时采用螺旋输送机。 b. 经常检查盾尾密封刷密封效果,经常填加油脂,确保密封刷状态良好
07	农业东路—心怡路站区间	下穿熊耳河	盾构与河底距离约14.3 m,下穿该条河的过程中,由于水压的变化,会对盾构及区间隧道产生不利影响	II级	
		下穿郑河小区	盾构区间埋深约12 m,郑和小区1#楼为深层搅拌桩基础,搅拌桩底在地面下约16 m。区间在下穿该建筑的过程中会切搅拌桩,同时产生震动和土层扰动,会诱发该建筑产生裂缝和不均匀沉降等风险	I级	采用克泥效工法,跟踪注浆,隔断保护,基底加固等措施

### 2.2.3 车站风险源

郑州市轨道交通 5 号线车站共计 628 处自身风险源，其中 I 级风险源 0 个，II 级风险源 173 个，III、IV 级风险源合计 455 处。郑州市轨道交通 5 号线车站共计 408 处环境风险源，其中 I 级风险源 11 个，II 级风险源 76 个，III、IV 级风险源合计 321 处。车站基坑周边相邻主要市政道路，周边环境复杂，加强监测，必要时采取注浆或其他加固措施。