

煤矿长距离斜井盾构

原位地下拆解及配套技术

中国铁建大桥工程局集团有限公司 宋伟俊 主编

MEIKUANG CHANGJULI
XIEJING DUNGOU YUANWEI
DIXIACHAIJIE JI
PEITAO JISHU



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

国家科技支撑计划项目资助(2013BAB10B03)

煤矿长距离斜井盾构 原位地下拆解及配套技术

主编单位 中国铁建大桥工程局集团有限公司
主 编 宋伟俊

中国铁道出版社

2016年·北京

图书在版编目(CIP)数据

煤矿长距离斜井盾构原位地下拆解及配套技术/宋伟俊

主编. —北京:中国铁道出版社,2016.10

ISBN 978-7-113-22087-7

I. ①煤… II. ①宋… III. ①地下采煤—斜井开拓—盾构法—研究
IV. ①TD823.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 222182 号

书 名:煤矿长距离斜井盾构原位地下拆解及配套技术

作 者:中国铁建大桥工程局集团有限公司 宋伟俊

责任编辑:陈小刚 张 瑜

编辑助理:黎 琳 电话:010-51873065 电子邮箱:lightlilly@163.com

封面设计:王镜夷

责任校对:苗 丹

责任印制:陆 宁 高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

版 次:2016年10月第1版 2016年10月第1次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:14 字数:346 千

书 号:ISBN 978-7-113-22087-7

定 价:40.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前言

煤炭是我国主要能源,其主体地位短期内不会改变。陕北、内蒙古西部、宁夏宁东、新疆等西北地区特别是鄂尔多斯盆地 300 m 以浅埋深的煤田基本上已全部开发,待开发的煤田埋深均在 300 m 以深。采用盾构施工煤矿长距离斜井,形成的盾构掘进成套技术,拓宽了盾构法的应用范围,填补了我国盾构施工煤矿斜井的技术空白,扩大了中深部煤炭资源的开发规模,创新了我国煤炭行业矿井建设模式,在国内外煤炭行业起到巨大的引领与示范作用。

本书的内容是课题研究团队近 4 年来研究成果的综合体现。本书根据煤矿斜井盾构施工的特点分析,在总结盾构地下拆解技术成果的基础上,通过理论与实践相结合的理论性研究分析,从设备的可拆解结构形式、拆解硐室设计与施工,到盾构拆解施工,进行了全方位的表述。

本书分为九个部分。第一部分由杨俊哲、杜彬、南清安、卓卉等编著,重点介绍盾构施工煤矿斜井的背景与意义,盾构拆解技术现状;第二部分由崔安义、曹颢、谷丽东等编著,重点介绍依托项目的基本情况,工程及水文地质特点;第三部分由纪尊众、张社军、邹春华、任延龙、何巍、张鑫等编著,介绍了盾构主机及附属设备的可拆解结构形式设计;第四部分由齐占国、李向海、邹春华、张庆、李铁成等编著,全面、透彻阐述盾构地下拆解硐室设计及盾构拆解区地层加固等内容;第五部分由龚彦峰、姚捷、韩兵、雷本健、严冬等编著,介绍了盾构拆解段管片结构的加固处置技术;第六部分由徐震、牛秀宝、倪博、华伟雄、李强等编著,分析了盾构拆解的技术要求,研发了专用拆解工装设备;第七部分由夏明铤、李永、游祖群、于春红、孙百峰等编著,全面阐述了盾构地下拆解施工技术;第八部分由张开顺、游龙飞等编著,介绍了示范工程盾构拆解施工组织及效果;第九部分由李向海、李铁成等编著,系统总结了取得的主要研究成果,分析了预期的经济社会效益及推广应用前景。

全书图文并茂,深入浅出,资料翔实,可参考性强,可供煤矿斜井施工与科研,盾构设计、施工、工程管理、科研等相关专业技术人员参考。

作者

2016 年 9 月

目 录

1 概 述	1
1.1 引 言	1
1.2 研究意义	2
1.3 研究现状	3
1.4 研究内容	5
2 工程及地质概况	7
2.1 新街台格庙矿区斜井工程	7
2.1.1 工程概况	7
2.1.2 地质概况	8
2.2 神东补连塔煤矿斜井工程	15
2.2.1 工程概况	15
2.2.2 地质概况	15
2.2.3 拆机硐室工程及水文地质	20
3 盾构地下可拆解结构形式	22
3.1 技术要求与研究方案	22
3.1.1 技术要求	22
3.1.2 研究方案	22
3.2 关键部件结构形式	23
3.2.1 刀 盘	23
3.2.2 盾 体	30
3.2.3 主 驱 动	35
3.2.4 螺旋输送机	37
3.2.5 管片拼装机	39
3.2.6 拖 车	39
3.2.7 结构部件的尺寸和质量	40
3.3 小 结	41
4 盾构拆解区域地层加固技术	42
4.1 盾构无扩大硐室拆解地层加固技术	42
4.1.1 纵向卸荷对结构及围岩的影响规律及加固措施	42
4.1.2 竖向卸荷对结构及围岩的影响规律及加固措施	54

4.1.3 考虑吊点荷载的围岩加固方案研究	58
4.2 盾构扩大硐室拆解地层加固技术	63
4.2.1 扩大硐室拱顶吊装锚索变形分析	63
4.2.2 扩大硐室地层加固方案研究	66
4.2.3 吊装荷载作用下拆解区域加固效果分析	70
4.2.4 拆解硐室断面变形监测分析	75
4.3 小 结	75
5 盾构拆解段管片受荷特性及处置技术	77
5.1 斜井管片结构受荷特性分析	77
5.1.1 管片结构数值模拟分析	77
5.1.2 盾构拆解区域管片力学性能试验研究	86
5.1.3 斜井管片结构变形及防水仿真分析	97
5.1.4 管片接缝防水模拟试验研究	100
5.2 盾构拆解影响区管片纵向卸荷特性及受力状况	103
5.2.1 盾构扩大硐室拆解管片纵向卸荷特性及受力状况	103
5.2.2 盾构无扩大硐室拆解管片纵向卸荷特性及受力状况	116
5.2.3 管片加固体系研究	122
5.3 小 结	133
6 盾构地下拆解专用装备研制	134
6.1 无扩大硐室多功能盾构拆解专用装置研制	134
6.1.1 多功能盾构拆解专用装置的组成与功能分析	134
6.1.2 吊索机构的仿真分析与研制	136
6.1.3 滑动平移机构的仿真分析与研制	141
6.1.4 支撑机构的仿真分析与研制	143
6.2 扩大硐室盾构 CXJ100 型拆解专用设备研制	144
6.2.1 CXJ100 型拆解专用设备的组成分析	144
6.2.2 CXJ100 型拆解专用设备的结构仿真分析	146
6.2.3 CXJ100 型拆解专用设备的研制	151
6.3 小 结	154
7 盾构原位地下拆解技术标准	155
7.1 斜井盾构地下拆解施工风险及技术难点分析	155
7.2 盾构原位无扩大硐室盾构拆解技术	155
7.2.1 原位无扩大硐室拆机流程	155
7.2.2 盾构关键部件拆解技术	156
7.3 扩大硐室拆解技术	162
7.3.1 原位扩大硐室地下拆解流程	162
7.3.2 盾构关键部件拆解技术	163

7.4 小 结	171
8 示范基地建设	173
8.1 示范工程建设基本情况	173
8.1.1 神东补连塔煤矿斜井工程	173
8.1.2 新街台格庙矿区斜井工程	188
8.2 盾构拆机施工组织	203
8.2.1 工期目标	203
8.2.2 组织机构设置	204
8.2.3 作业人员配置	205
8.2.4 作业流程	205
8.2.5 进度指标分析	206
8.3 盾构施工煤矿长距离斜井关键技术应用	206
8.3.1 盾构地下拆解技术应用	206
8.3.2 盾构拆解区域管片及地层加固技术应用	206
8.3.3 盾构拆解专用装置	206
8.4 工程示范效果与评价	208
9 主要成果与展望	210
9.1 取得的主要成果	210
9.1.1 设备研制	210
9.1.2 主要研究成果	210
9.2 主要创新点	211
9.3 经济效益与社会效益分析	212
9.3.1 经济效益	212
9.3.2 社会效益	212
9.4 应用前景展望	213
参考文献	214

1 概 述

1.1 引 言

煤矿斜井盾构地下拆解,将面临许多问题,如:需拆解的盾构设备体积大,吨位重;拆解作业空间有限,拆解运输巷道断面空间小;拆解段埋深大,地质条件复杂,安全风险高。盾构地下拆解需解决以下几方面的重大技术难题。

1. 盾构可拆解结构形式设计研发。

开展前期的盾构可拆解结构形式研究,首先在于适用性,要求切实可行的结构设计,既能满足盾构的功能性、实用性需求,还能满足安全、便捷的拆解需要。其次在于时效性,要求在盾构的设计阶段,能够将研究成果得以应用。盾构原位拆解的主要目的在于及时让位,保障后续作业的顺畅推进。关键凸显在快速、安全方面,其难点表现在是“空间小、难度大、风险高”等方面。盾构原位拆解可操作的最大空间也仅为盾壳内净空,人员、机械作业困难,大型吊装机械根本无法利用,空间狭小;主驱动轴承作为盾构的核心部件,也是质量最大的构件,单体质量近 100 t,在无增加构筑物 and 大型吊装设备的辅助下,完好的将其拆解外运,拆解难度极大。

2. 盾构拆解区域地层加固技术。

开展盾构拆解区域地层加固的方案研究论证,目的是保证盾构拆解作业安全,实现一次成型巷道的平稳转换过渡。在深埋、富水高压地层中,无管片结构支护条件下,实施盾构倾斜状态原位拆解,存在突涌水、坍塌、管片滑动等危险因素,任何危险的发生都是灾难性的,施工安全风险高。且由于大坡度和高承压水的存在,地层加固的实际区域和理论计算必然存在较大的差异,缺乏相关地层加固材料选取和相关参数确定的理论研究以及技术支持。开展盾构拆解区域地层综合加固技术研究,就是在于突破固有的超前预注浆实施地层加固的观念,结合盾构的工作模式和结构特征,创造性研发盾构在倾斜姿态下,针对深埋、富水高压地层的独特状况,区段性的开展地层超前加固工作,保证拆机实施全过程的安全稳定,进而确保巷道运营期的安全稳定。

3. 管片倾斜状态下由纵向卸荷引发的盾构拆解段管片结构纵、横向荷载动态变化规律分析及其综合处置技术研发。

开展盾构拆解段管片受荷特性及处置技术的研究,其技术难点首先在于管片的纵向结构力学特性和横向结构力学特性,随盾构的推进及纵向卸荷,会发生根本性的变化,需要依靠系列的监控测量进行研究分析;其次由于拆解区域的管片结构力学特性的非线性变化相应管片结构的综合处置必将针对性的进行设计。

4. 设计研发拥有核心技术和自主知识产权的硐内拆解盾构专用工装。

开展盾构拆解专用装备的研制,其技术难点在于在现有的“标准工具”基础上,结合盾构结构形式,创新研发拥有核心技术和自主知识产权的专用工装。要求脱离仿制、改进的固有思维模式,真正的研究开发自有产品,并形成产业化格局。

1.2 研究意义

1. 煤矿斜井盾构地下拆解是煤矿新井盾构法建设的需要。

盾构施工煤矿长距离斜井,创新煤矿斜井建设模式,对于促进我国深层煤炭资源开发具有重大意义。

由于盾构机总长超过 200 m,总质量超过 1 000 t,在一次成型的斜井中,如何安全快捷地将已经完成施工任务的盾构拆解、外运并拼装再利用,使斜井快速投入运营,争取实现矿区效益最大化,需研究煤矿长距离斜井盾构原位地下拆解及配套技术。

2. 开展盾构可拆解结构形式的研究是安全、快速、高效进行盾构地下拆解的前提。

盾构法在国内城市轨道交通领域应用较为广泛,并且在铁路、公路、水利以及城市管道等领域的建设项目中也得到了推广应用。盾构无论是硐外拆解或是在扩大硐室拆解,通常采用大部件整体吊装的方法,在大吨位吊机的配合下,逐块顺序拆解。而进行煤矿斜井盾构的地下拆解,受环境条件、空间条件、作业条件、地质条件、设备条件等多方因素的限制,直接进行大部件的吊装拆解困难重重。

开展盾构可拆解结构形式的研究,其目的是在盾构设计制造的初期,将分块设计理念植入到盾构结构设计中,在盾体、盾壳、刀盘等关键部件的设计中,研究合理的分块模式,满足盾构在倾斜姿态下有限空间内安全、快速、高效拆解的要求。该项技术是实现盾构地下拆解的前提。

3. 盾构拆解区域地层加固技术是盾构拆解安全顺利进行的有效保障。

在软岩深埋煤矿斜井中,作用在盾构上的水、土压力较大,为保证盾构拆解的安全,必须依据拆解区域围岩的水、土压力分布规律,采用针对性的地层加固技术和工艺,对围岩进行必要的加固,以达到稳固围岩、稳定工作面和封堵地下水的目的,为盾构的安全拆解提供有效保障。

该项技术研究将总结出盾构拆解区域地层加固配套技术,不但能安全稳妥的保障盾构的正常拆解,也能在其他盾构建设斜井项目中得以推广应用。

4. 开展盾构拆解段管片受荷特性及相关理论分析,研究综合处置技术,是确保斜井质量和使用的技术支撑。

盾构拆解过程中,纵向推力的释放将引起管片结构纵向力学变化,导致管片结构受力状态发生变化,并引起管片结构的纵向位移,影响管片接缝防水能力。在大理深富水条件下,将引起管片接缝渗漏水,甚至形成涌水通道,严重影响斜井质量及斜井运营期间的使用安全。因此,研究在盾构拆解过程中,斜置管片结构的纵向卸载对管片结构受力及变形的影响,分析盾构拆解卸载对邻近管片变形及管片接缝防水的影响规律,结合管片结构稳定及接缝防水等方面的标准要求,提出盾构拆解影响区域管片加固综合处置技术,是确保斜井质量和使用的技术支撑。

通过对盾构拆解段管片受荷特性及处置技术的研究,将填补国内外斜置管片受荷特性理论研究及其处置技术的空白,取得的研究成果有助于解决斜井盾构原位拆解核心技术和关键性理论问题,推广应用前景广阔。

5. 煤矿斜井盾构地下拆解专用装备研制,是实现安全、快速、高效盾构原位地下拆解的有效途径,对提升国内装备制造企业的科技创新能力,有着积极促进作用。

在煤矿斜井中进行盾构地下拆解,拆解区域空间狭小,待拆解部件多、吨位大、体积大,传统的拆解吊装设备难以满足拆解要求。因此,需要研制煤矿斜井盾构地下拆解专用装备,实现

盾构的安全、快速、高效拆解。

盾构属于大型非标产品,盾构及其配套装备均需根据作业环境、工作需求、设计工艺、操作特点等条件,实施“量身定做”。长期以来,盾构的关键部件及配套装备仍沿用国外厂商的成型设计。依托项目的独特需求,通过煤矿斜井盾构地下拆解专用装备的研制,形成拥有核心技术和自主知识产权的专用装备,可提升国内装备制造企业的科技创新能力,增强装备制造业综合实力,提高国际竞争力。

6. 制定煤矿斜井盾构拆解规程,规范拆解工艺。

盾构法尽管在国内应用较为广泛,但盾构技术规程基本都集中在盾构设备的组装与调试、盾构掘进施工、管片拼装、壁后注浆、施工安全、卫生与环境保护、盾构隧道风险管理等方面。煤矿斜井洞内拆解的研究在国内刚刚起步,尚无相关的规程可供参照。

通过研究,制定煤矿斜井盾构拆解规程,规范拆解工艺,为煤矿斜井盾构地下拆解施工提供一个行之有效的参照依据,也可为类似工程提供借鉴,能够最大程度地节约社会资源,进而促进行业又好又快的可持续发展。

1.3 研究现状

在盾构项目施工中,盾构拆解总体遵循先易后难,先小后大,由后往前、由上而下、由内而外的顺序,先断开各路管线、拆除各部件连接,然后按照拖车——连接桥——管片拼装机——悬臂梁——米字梁——主轴承——中盾——前盾——刀盘的顺序,逐一拆解。

对于盾构拆解技术,有少数学者进行了初步的研究,且研究多集中于拆卸扩大洞室的方案和拆卸施工方案等方面。对于拆解影响区管片纵向卸荷特性及受力状况和盾构拆解结构形式的研究尚未见报道。

目前国内外盾构拆解一般有三种成熟模式:一是城市轨道交通工程常用的依靠盾构接收井进行盾构拆解施工;二是隧道掘进完成后在洞外进行盾构顺序拆解;三是在预先开挖的扩大洞室内,依靠大型吊装设备实施拆解。以下是盾构拆解的三个典型案例。

1. 广深港客专狮子洋隧道大直径泥水平衡盾构洞内解体

狮子洋隧道为广深港高速铁路的控制性工程,采用4台 $\phi 11.182\text{ m}$ 泥水加压平衡式盾构施工,中铁隧道集团施工出口段,采用2台由德国维尔特集团属下的NFM Technologies公司开发研制的膨润土—气垫式泥水盾构向进口施工。在假设进出口端4台盾构掘进速度基本相当的情况下,原计划对接位置选择在DK38+250~DK38+099.2段海底,但由于出口端泥水盾构施工速度快,对接位置进行了更改,在出口端泥水盾构到达新的对接位置后即解体拆机,然后运出洞外。

狮子洋隧道大型泥水盾构主要由刀盘、前盾体、中盾体、尾盾体,盾体内设备及G0、G1、G2三节后配套拖车组成。盾体部分总长12.43 m,后配套拖车部分总长48 m,整机最重约1600 t。前盾体和中盾体采用双层设计(外层厚度4 cm),考虑了两层独立的内外盾壳,尾盾采用单层设计,在外壳的保护下,所有内部钢结构和部件都可拆卸,并运到地面上。盾构对接后将前盾体和中盾体内层解体拆卸,外层不拆除,永久留存于隧道中,在拆机时起到支撑保护和安装吊点的作用。如图1-1所示。

(1) 拆卸前准备工作

① 盾构对接处满足拆卸的土建技术要求。

Figure 1 is a schematic diagram of the Zhongshan Tunnel project. The diagram illustrates the tunnel's layout and geological context. Key dimensions and segments are labeled:

- Building Total Length:** 10 800 m
- Tunnel Length:** 10 490 m
- Segments:**
 - Shield Segment (盾构段): 4 880 m
 - Connection Segment (对接现浇段): 20 m
 - Shield Segment (盾构段): 4 440 m
- Vertical Dimensions:**
 - Left side: 130 m (明挖), 307 m (暗埋段)
 - Right side: 23 m, 597 m (明挖), 180 m (暗埋段)
- Geological Features:**
 - Soil (土层)
 - Fully weathered bedrock (全风化基岩)
 - Strongly weathered bedrock (强风化基岩)
 - Weakly weathered bedrock (弱风化基岩)
 - Concrete structure (W₂)
- Locations and Features:**
 - Guangzhou (广州)
 - Export Work Well (出口工作井)
 - East Pond (东涌)
 - Small Tiger Pond (小虎沥)
 - Sa Zhen Pond (沙仔沥)
 - Sa Zhen Island (沙仔岛)
 - Shi Zi Yang (狮子洋)
 - Xi Da Tan (西大坦)
 - Sui Feng Nian (穗丰年)
 - Deep Buried Segment (深埋段)

结合 TBM 设备的特点,合理确定了在地下开挖扩大组装硐室,根据 TBM 的大件尺寸,确定 TBM 运输支硐的断面以及硐内吊装和运输方案,在国内首次实现了 TBM 的地下硐室组装和拆解。通过设置中间支硐,对 TBM 进行中间检修来提高 TBM 长距离掘进的可靠性,并提出 TBM 中间转场方案,为单台 TBM 连续掘进 20 km 奠定了基础。这项技术后来成功应用在西秦岭隧道贯通后成功实现 TBM 硐内拆卸。

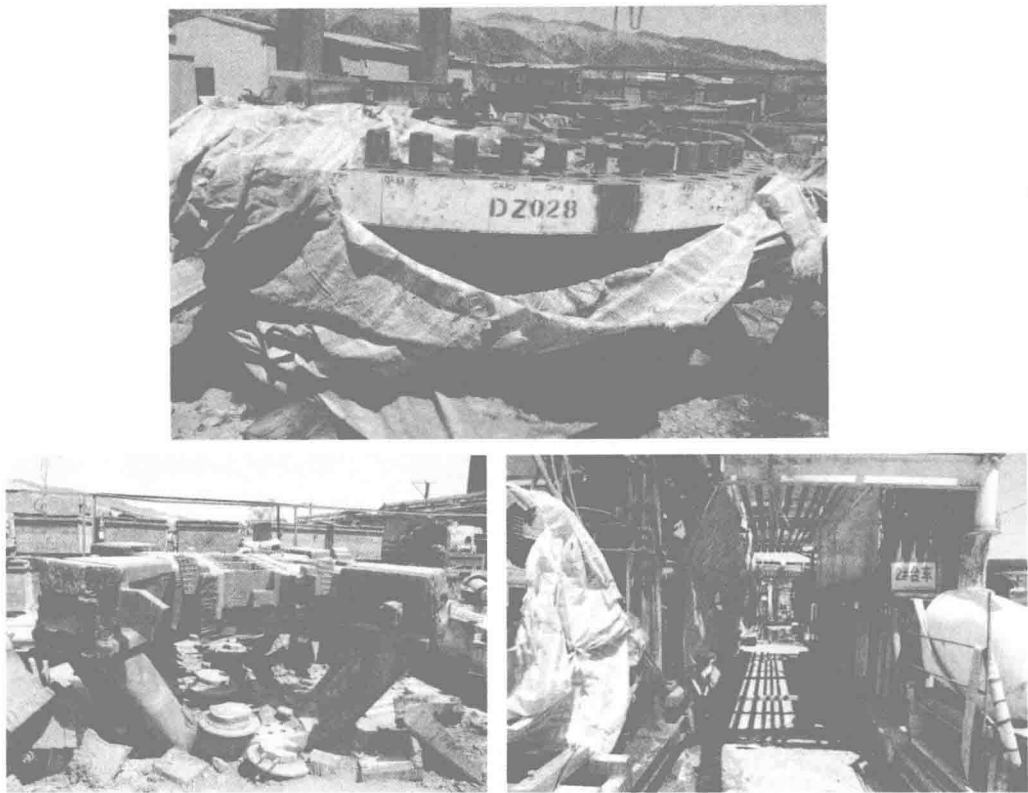


图 1-2 涝坝湾煤矿副平硐拆解出来的盾构刀盘和台车

综上所述,不依靠附属构筑物实施硐内原位拆解的盾构项目,国内仅有广深港高铁狮子洋隧道的成功范例。然而由于狮子洋隧道采用的是盾构水平硐内拆解的作业方式,与煤矿斜井倾斜状态下实施无扩大硐室的原位拆解,有很大区别。此外,煤矿斜井扩大硐室盾构拆解具有软岩埋深大、地质条件复杂、开挖扩大硐室的成本高等特点,增加了盾构机地下拆解施工难度和工程成本,安全风险高,需进行有针对性的研究。因此,应用盾构法建设煤矿长距离连续下坡斜井,必须开展盾构地下拆解施工技术研究。

1.4 研究内容

本书依托神东补连塔煤矿和新街台格庙矿区煤矿斜井试验工程开展研究,将在形成盾构施工煤矿斜井的成套技术及相关分析理论的项目总体目标和任务要求下,结合煤矿斜井盾构地下拆解的实际情况,针对既要求盾构拆解安全高效,又要求已建成巷道结构稳定这一重大问题,开展盾构可拆解结构形式、地层加固、管片加固等盾构地下拆解技术的研究工作,研制适用

于盾构关键部件拆解的专用装备,制定盾构拆解规程。

(1)通过对现有盾构各部件的使用功能及连接形式的分析,提出拆解技术要求,研究盾构相关部件的可拆解结构形式及其连接结构。

(2)研究盾构拆解所处地层工程地质及水文地质条件,分析盾构拆解过程围岩稳定性及水、土压力的变化规律,提出盾构拆解区域地层加固配套技术。

(3)研究拆解段管片结构的应力变化与变形规律,提出盾构拆解影响区域管片加固处理技术。

(4)研究盾构各部件的拆解需求,研制适用于煤矿斜井盾构关键部件拆解的专用装备。

(5)制定盾构地下拆解规程,提出煤矿长距离斜井盾构地下拆解及配套技术。

2 工程及地质概况

2.1 新街台格庙矿区斜井工程

2.1.1 工程概况

台格庙矿区位于鄂尔多斯市境内,行政隶属鄂尔多斯市伊金霍洛旗和乌审旗。矿区规划总面积 771.0 km²,规划总资源量 14 427.72 Mt,整装置置由神华集团公司勘查开发。矿区可采煤层共 15 层,埋藏深度 519~919 m,地质结构简单,为近水平煤层,煤层赋存较稳定、煤质优良、开采技术条件较好,适合建设大型安全高效矿区。

矿区划分为六个井田,设计生产能力总计 85.0 Mt/a。矿区南部呈“田”字形划分为四个井,先期开发,设计生产能力均为 15.0 Mt/a。南部四个井田在中部集中布置缓坡主、副斜井,实现集中管控,共享基础设施。如图 2-1 所示。



图 2-1 矿区地理位置图

根据矿区规划将 1 号矿井的主、副斜井分别作为试验工程的 1 号、2 号示范井筒,并作为国家科技支撑计划项目的示范工程。新街台格庙矿区一号井的主斜井,自上而下依次穿越第四系、白垩系和侏罗系安定组、直罗组与延安组。斜井坡度 -10.5% (6° 下坡),长度为 6 553 m,最大埋深 685 m,斜井开挖直径 7.62 m,净直径 6.6 m,管片厚 350 mm,环宽 1 500 mm。斜井包含明槽段及盾构掘进段两部分,其中明槽段长 150.309 m,盾构掘进段长 6 402.691 m。采用双模式盾构(具有闭式和开式两种掘进模式)掘进施工。

工程明槽主体结构断面和盾构施工段井筒断面如图 2-2、图 2-3 所示。

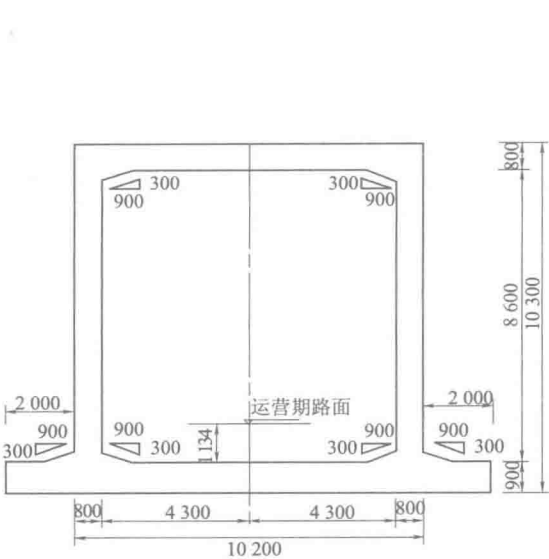


图 2-2 明槽主体结构断面图(单位:mm)

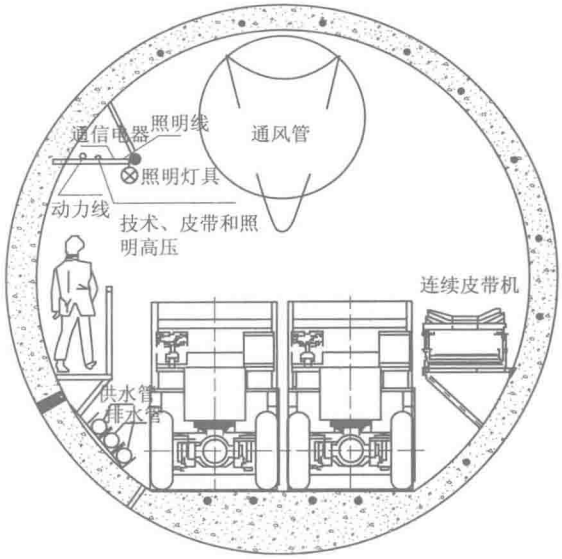


图 2-3 盾构施工井筒断面图

2.1.2 地质概况

1. 工程地质

根据勘探成果分析,示范工程穿越地层由老至新发育有:侏罗系中统延安组(J_{1-2y})上段,侏罗系中统直罗组(J_{2z})、安定组(J_{2a}),白垩系下统志丹群(K_{1zh}),第三系上新统(N_2)和第四系(Q_4)。现分述如下:

(1)侏罗系中统延安组(J_{1-2y})

1)示范工程落底于侏罗系中统延安组上部。岩性为灰白色高岭土质胶结的细砂岩、粉砂岩,局部相变为砂质泥岩和泥岩。岩石基本物理指标具体如表 2-1 所示。

表 2-1 岩石基本物理指标

项目 岩性	天然容重 (g/cm^3)	干容重 (g/cm^3)	孔隙率 (%)	比重 (%)	含水率 (%)	粘粒含量 (%)
粗粒砂岩	2.28	2.25	17.58	2.73	0.32	2.4
中粒砂岩	2.28~2.50	2.27~2.47	8.86~16.18	2.71	0.27~0.98	1.9~2.8
砂岩、泥岩互层	2.48~2.59	2.46~2.58	8.83~8.89	2.70~2.83	0.85~2.11	2.0~3.2
砂质泥岩	2.39~2.44	2.36~2.42	8.33~8.88	2.59~2.64	0.87~1.02	1.8~2.7

2)岩石中 SiO_2 含量

粗粒砂岩中 SiO_2 含量为 67.10%,中粒砂岩中 SiO_2 含量为 61.70%~67.80%,砂岩与泥岩互层 SiO_2 含量为 61.50%~64.60%,砂质泥岩 SiO_2 含量为 58.60%~60.60%。

3)岩石中所含矿物

岩石中所含矿物以石英为主,含斜长石、钾长石、方解石、铁白云石、方沸石、赤铁矿、蒙脱

石、伊利石、绿泥石。粗砂岩中石英含量为 46.5%，中粒砂岩中石英含量为 36.8%~49.8%，砂岩与泥岩互层石英含量为 39.9%~56.2%，砂质泥岩石英含量为 32.5%~33.4%。

4)岩石耐磨性

岩石耐磨性是采用与岩石单轴抗压强度相关性较好的专用钢针 CAI 针头的模式值 *Ab* (单位为 1/10 mm)的大小进行描述,粗粒砂岩 *Ab* 值为 1.60,中粒砂岩 *Ab* 值为 1.81~2.03,砂岩与泥岩互层 *Ab* 值为 1.31~1.37,砂质泥岩 *Ab* 值为 1.63~1.78。

5)岩石强度

如表 2-2 所示。

表 2-2 岩石强度指标

项目 岩性	抗压强度(MPa)		软化 系数	抗拉强度 (MPa)	抗剪断强度(MPa)		弹性模量 (MPa×10 ⁴)	泊松比	普氏 硬度
	天然状态	饱和状态			内摩擦角 φ°	黏聚力 <i>c</i>			
粗粒砂岩	25.09	15.83	0.63	1.23	35.65	4.79	1.247	0.20	2.5
中粒砂岩	38.05~	27.59~	0.64~	1.76~	35.99~	5.27~	1.791~	0.17~	3.8~
	43.53	27.78	0.67	2.12	37.09	6.97	2.374	0.19	4.4
砂岩与 泥岩互层	26.85~	15.88~	0.59~	1.31~	36.32~	3.65~	1.357~	0.17~	2.7~
	53.04	35.78	0.67	2.87	37.02	6.84	3.126	0.22	5.3
砂质泥岩	33.24~	23.41~	0.70~	1.58~	35.99~	5.37~	1.318~	0.21~	3.0~
	38.05	27.62	0.73	1.76	36.25	5.63	1.526	0.23	3.3

6)岩石完整性

岩石完整性以 *RQD* 值来表征,粗粒砂岩 *RQD* 值为 61%~66%,中粒砂岩 *RQD* 值为 51%,砂岩与泥岩互层 *RQD* 值为 83%~86%,砂质泥岩 *RQD* 值为 64%~69%。

(2)侏罗系中统直罗组(J_{2z})

1)该地层岩性组合上部为灰绿色砂质泥岩、粉砂岩呈互层出现;下部为灰绿、青灰色中~粗砂岩,中夹粉砂岩、砂质泥岩。在矿区北部一带底部为砾岩或含砾粗粒砂岩。钻孔揭露该组地层厚度平均 143 m,与下伏地层呈平行不整合接触。

基本物理指标如表 2-3 所示。

表 2-3 岩石基本物理指标

项目 岩性	天然容重 (g/cm ³)	干容重 (g/cm ³)	孔隙率 (%)	比重 (%)	含水率 (%)	粘粒含量 (%)
粗粒砂岩	2.24	2.22	21.00	2.81	0.40	2.4
砂岩、泥岩互层	2.22~2.56	2.19~2.54	10.28~23.96	2.88	1.12	2.8

2)岩石中 SiO₂ 含量

粗粒砂岩中 SiO₂ 含量为 68.40%,砂岩与泥岩互层 SiO₂ 含量为 57.90%,砂质泥岩 SiO₂ 含量为 60.90%。

3)岩石中所含矿物

岩石中所含矿物以石英为主,含斜长石、钾长石、方解石、铁白云石、方沸石、赤铁矿、蒙脱

石、伊利石、绿泥石。粗砂岩中石英含量为 35.3%，砂岩与泥岩互层石英含量为 32.0%~49.5%，砂质泥岩石英含量为 33.1%。

4)岩石耐磨性

岩石耐磨性是采用与岩石单轴抗压强度相关性较好的专用钢针 CAI 针头的模式值 A_b (单位为 1/10 mm)的大小进行描述,粗粒砂岩 A_b 值为 2.06,砂岩与泥岩互层 A_b 值为 1.40~1.60,砂质泥岩 A_b 值为 2.01。

5)岩石强度

岩石强度包括天然抗压强度和抗拉强度、单轴饱和抗压强度、抗剪断强度、弹性模量、软化系数、泊松比、普氏硬度,如表 2-4 所示。

表 2-4 岩石强度指标

项目 岩性	抗压强度(MPa)		软化 系数	抗拉强度 (MPa)	抗剪断强度(MPa)		弹性模量 (MPa×10 ⁴)	泊松比	普氏 硬度
	天然状态	饱和状态			内摩擦角 φ°	黏聚力 c			
粗粒砂岩	25.53	16.47	0.65	1.25	35.29	4.67	1.278	0.23	2.6
砂岩与 泥岩互层	25.23~	15.69~	0.62	1.29~	35.04	4.17~	1.235~	0.19	2.5~
	37.26	24.96		1.75		5.53	1.759		3.7
砂质泥岩	41.00	29.72	0.72	1.94	39.34	6.27	2.063	0.21	4.1

6)岩石完整性

岩石完整性以 RQD 值来表征,粗粒砂岩 RQD 值为 55%~75%,砂岩与泥岩互层 RQD 值为 71%~86%,砂质泥岩 RQD 值为 65%~76%。

(3)侏罗系中统安定组(J_{2a})

1)岩性组合为降紫色或棕红色细~粗粒砂岩夹薄层紫红色、灰绿色泥岩、砂质泥岩。砂岩中含大量青灰色泥质包裹体。钻孔揭露该组地层厚度平均 120 m。与下伏直罗组地层为整合接触。

基本物理指标包括岩性、密度、含水率、孔隙率、颗粒密度、粘粒含量,如表 2-5 所示。

表 2-5 岩石基本物理指标

项目 岩性	天然容重 (g/cm ³)	干容重 (g/cm ³)	孔隙率 (%)	比重 (%)	含水率 (%)	粘粒含量 (%)
粗粒砂岩	2.30~2.46	2.25~2.44	12.54~21.60	2.79~2.87	1.45~1.99	2.4~3.7
砂岩、泥岩互层	2.51	2.49	14.73	2.92	2.55	6.8
砂质泥岩	2.53~2.56	2.50~2.54	9.29~15.54	2.80~2.96	1.82~2.31	1.4~7.4

2)岩石中 SiO₂ 含量

粗粒砂岩中 SiO₂ 含量 58.40%~62.70%,砂岩与泥岩互层 SiO₂ 含量 61.90%,砂质泥岩 SiO₂ 含量 56.40%~60.20%。

3)岩石中所含矿物

岩石中所含矿物以石英为主,含斜长石、钾长石、方解石、铁白云石、方沸石、赤铁矿、蒙脱石、伊利石、绿泥石。粗砂岩中石英含量为 29.2%~52.3%,砂岩与泥岩互层石英含量为 37.2%,砂质泥岩石英含量为 33.0%~36.0%。