

# 建筑施工机械

## 液压故障案例分析

JIANZHU SHIGONG JIXIE YEYA GUZHANG ANLI FENXI

黄志坚 © 编著

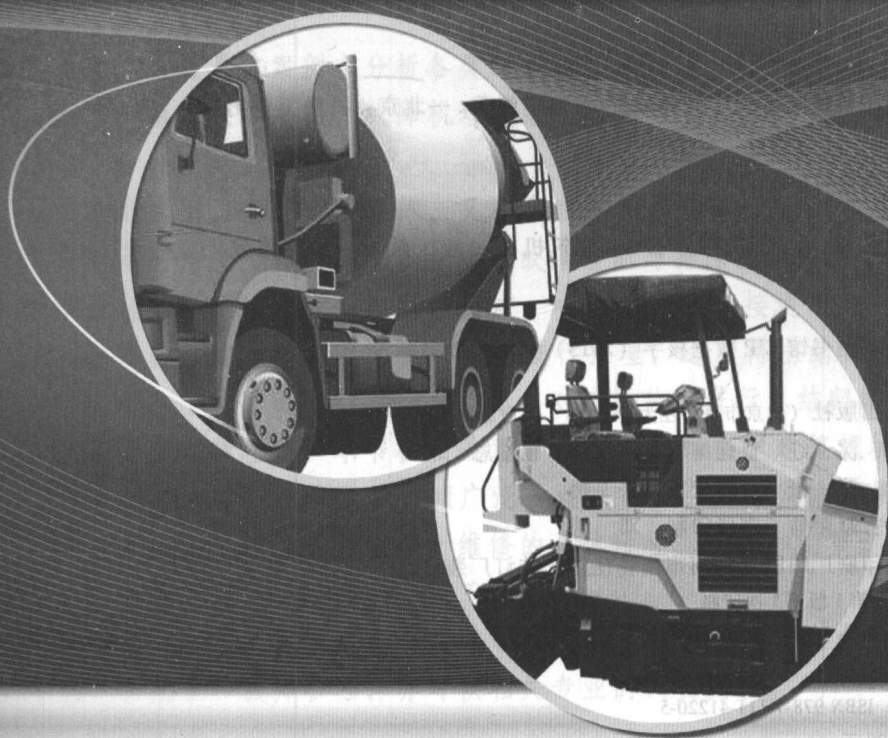


# 建筑施工机械

## 液压故障案例分析

JIANZHU SHIGONG JIXIE YEYA GUZHANG ANLI FENXI

黄志坚 © 编著



凡在本社出版图书，如蒙各界人士、团体、学校、图书馆、书店、经销商、代理商、读者、作者、译者、审稿人、编辑、校对、印刷、发行、储运、销售、服务等，均请向本社联系。

本社地址：北京机械工业出版社  
社址：北京机械工业出版社  
社址：北京机械工业出版社

本社地址：北京机械工业出版社  
社址：北京机械工业出版社  
社址：北京机械工业出版社

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

本书通过案例来分析各类建筑施工机械液压系统故障。每一故障案例都包括故障现象,故障原因,故障机理,故障诊断与排除的思路、过程、要领及技巧等部分。本书选入的案例可在较大范围与不同角度为建筑施工机械液压故障诊断与排除提供参考、比照与借鉴的依据。读者可直接运用书中的方法或数据排除故障,也可参照书中案例进行推理,还可将实际的案例与书中案例进行对比或类比,对液压故障进行总结归纳或分类。本书取材新颖广泛,数据翔实,思路清晰,侧重实用,力求反映各类建筑机械液压装置诊断维修的具体过程、步骤和细节。

本书可供建筑机械研究、开发、设计、制造、使用和维修人员,机电专业的大学生、研究生、教师参考,亦可供相关专业的人员阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑施工机械液压故障案例分析/黄志坚编著. —北京:机械工业出版社, 2013. 4

ISBN 978-7-111-41220-5

I. ①建… II. ①黄… III. ①建筑机械—液压系统—故障修复  
IV. ①TU607

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 011925 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:沈红 责任编辑:沈红 崔滋恩

版式设计:张薇 责任校对:张媛

封面设计:赵颖喆 责任印制:邓博

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 19.5 印张 · 480 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41220-5

定价: 59.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

编辑热线: (010)88379778

教材网: <http://www.cmpedu.com>

社服务中心: (010)88361066

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010)68326294

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

销售二部: (010)88379649

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

随着国家基本建设步伐的加快，建筑施工机械得到了更加广泛的应用，且发挥着重要的作用。

液压系统是建筑施工机械的重要组成部分。建筑施工机械液压系统工作环境十分恶劣，多是露天作业，受风雨、日晒、大气、粉尘、振动等的侵害，磨损严重，故障频繁。施工生产的特性决定了它们工作在各工地上，分散性大，流动性强。其机械及液压元件种类繁多，技术要求也不尽相同，现场资料往往不全或资料与实物不符。因此，维修人员在建筑施工机械液压系统维修工程中遇到的困难不少。

故障分析是维修过程极为重要的一环。为帮助广大专业技术人员进一步掌握建筑施工机械液压故障诊断与维修技术，并快速准确地解决各类千变万化的实际问题，编写了本书。

本书通过具体案例来分析各类建筑施工机械液压系统故障。每一故障案例都包括故障现象，故障原因，故障机理，故障诊断与排除的思路、过程、要领及技巧等部分。

作为案例，它既非常具体，又有代表性和典型意义。本书选入的案例可在较大范围与不同角度为建筑施工机械液压故障诊断与排除提供参考、比照与借鉴的依据。在建筑施工机械液压故障诊断维修中，相关人员可直接运用案例中的方法或数据排除故障；也可结合具体情况参照案例进行推理，进而得出结论；同时，还可将实际的案例与书中的案例进行对比或类比，对液压故障进行总结归纳或分类。

为便于读者理解，本书在相关章节概述部分对典型建筑机械液压技术及维修方法作了简要介绍。本书取材新颖广泛，数据翔实，思路清晰，侧重实用，力求反映各类建筑施工机械液压装置诊断维修的具体过程、步骤和细节。

研究生肖浪参与了资料整理工作。

本书可供建筑机械研究、开发、设计、制造、使用和维修人员，机电专业的大学生、研究生、教师参考，亦可供相关专业的人员阅读。

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 盾构机液压故障案例分析</b> .....	1
1.1 盾构机液压系统概述 .....	1
1.1.1 盾构机液压系统的组成与特点 .....	1
1.1.2 盾构推进液压系统 .....	2
1.1.3 刀盘驱动液压系统 .....	3
1.2 盾构机推进系统液压故障案例分析 .....	5
1.2.1 海瑞克 S266 型土压平衡盾构机 推进系统的故障排除 .....	5
1.2.2 小松土压平衡盾构机推进系统 的故障诊断与修复 .....	7
1.2.3 盾构机推进系统液压缸不同步 故障的排除 .....	11
1.3 盾构机刀盘驱动系统液压故障案例 分析 .....	13
1.3.1 海瑞克盾构刀盘驱动液压系统 的故障分析及处理 .....	13
1.3.2 土压平衡式盾构机主驱动系统 故障的排除 .....	15
1.3.3 STEC-D5 型刀盘驱动系统故障 的排除 .....	18
1.3.4 盾构机刀盘卡死故障的分析与 排除 .....	18
1.4 盾构机管片储运与拼装液压故障案 例分析 .....	19
1.4.1 超大直径盾构管片储运机存在 的问题及改进 .....	19
1.4.2 土压平衡式盾构机管片拼装系 统故障的排除 .....	22
1.4.3 STEC-D5 型土压平衡盾构机管片 拼装系统的故障及处理 .....	26
1.5 盾构机液压元件或系统故障案例分 析 .....	27
1.5.1 $\phi 6.34\text{m}$ 土压平衡盾构拼装机液 压泵吸空现象的分析与处理 .....	27
1.5.2 盾构机液压系统污染的原因分析 与防治 .....	31

1.5.3 盾构机施工中设备的泄漏问题 及解决办法 .....	35
1.5.4 土压平衡式盾构机液压油温度 过高故障的排除 .....	36
<b>第 2 章 混凝土搅拌设备液压故障案     例分析</b> .....	38
2.1 混凝土搅拌设备的液压控制系统及 其使用与维修概述 .....	38
2.1.1 混凝土搅拌车液压控制系统 .....	38
2.1.2 混凝土搅拌车液压系统常见故 障及排除 .....	40
2.2 混凝土搅拌设备液压系统故障案例 分析 .....	44
2.2.1 JDY500 型混凝土搅拌机液压系 统的改进 .....	44
2.2.2 混凝土搅拌运输车故障的处置 .....	46
2.2.3 混凝土搅拌运输车的液压泵反 馈杆断裂成因分析 .....	48
2.2.4 混凝土搅拌输送罐车液压系统 故障分析案例 .....	50
2.2.5 强制式混凝土搅拌机液压系统 改造及运行分析 .....	52
<b>第 3 章 混凝土输送设备液压故障案     例分析</b> .....	55
3.1 混凝土输送泵液压控制系统及其使 用与维修概述 .....	55
3.1.1 闭式混凝土输送泵液压控制系 统 .....	55
3.1.2 开式混凝土输送泵液压控制系 统 .....	57
3.1.3 混凝土输送泵液压系统常见故 障及排除 .....	60
3.2 混凝土泵送系统液压冲击与振动故 障案例分析 .....	62
3.2.1 开式混凝土泵送机械液压冲击 行为与控制的试验分析 .....	62
3.2.2 某型号混凝土泵送系统液压冲	

击的分析 .....	67	与维修概述 .....	115
3.2.3 某型号混凝土泵开式液压系统 液压冲击的分析与对策 .....	71	4.1.1 振动压路机液压控制系统 .....	115
3.2.4 采用电液比例控制技术改进混 凝土泵的冲击 .....	73	4.1.2 振动压路机液压系统常见故 障及排除 .....	117
3.2.5 HG24 型混凝土布料机液压系统 冲击的改进 .....	76	4.2 振动压路机行走液压故障案例分 析 .....	119
3.3 混凝土泵送液压系统控制故障案例 分析 .....	79	4.2.1 BW202AD-2 型压路机行走故 障的诊断 .....	119
3.3.1 HBT60C III 型混凝土泵液压系统 故障的分析与改进 .....	79	4.2.2 CA25 型振动压路机行走液压 系统故障的诊断及维修 .....	120
3.3.2 某型号混凝土泵液压系统的改 造 .....	82	4.2.3 CA25D 型压路机液压故障的 分析 .....	120
3.4 混凝土输送装置驱动无力案例分析 .....	86	4.2.4 CA51 型压路机行走液压系统 的改造 .....	122
3.4.1 楚天 IPF-85B 型混凝土泵车驱 动无力故障的分析与处理 .....	86	4.2.5 YZ26C 型压路机行走液压系 统故障的处理 .....	125
3.4.2 基于故障树分析法的混凝土泵 液压系统故障诊断 .....	88	4.2.6 压路机电液伺服阀故障的诊 断 .....	125
3.5 混凝土输送装置能耗与温控案例分 析 .....	91	4.2.7 压路机突然不能工作故障的 排除 .....	126
3.5.1 HBTS80 型混凝土泵液压系统能 量损耗分析 .....	91	4.2.8 压路机行走机构液压系统的 故障诊断与排除 .....	127
3.5.2 混凝土泵液压系统异常发热的 原因分析与排除 .....	97	4.2.9 BW202AD-2 型双钢轮振动压 路机前轮驱动液压马达的维修 .....	129
3.5.3 降低 HG 系列混凝土布料机液 压系统的温升 .....	100	4.2.10 压路机械液压转向系统的故 障诊断与排除 .....	134
3.6 典型混凝土输送泵液压系统故障分 析与排除案例 .....	101	4.3 振动压路机振动液压系统故障案例 分析 .....	137
3.6.1 HBT60C 型拖式混凝土输送泵 液压系统的故障分析与处理 .....	101	4.3.1 CA30 型振动压路机激振力降 低的诊断处理 .....	137
3.6.2 HBT80E-1813 型混凝土输送泵 液压系统的故障分析与处理 .....	104	4.3.2 YZ14GD 型压路机振动系统的 故障分析 .....	138
3.6.3 IHI-IPF85B 型混凝土泵车液压 系统的故障分析与处理 .....	106	4.3.3 YZ18S 型振动压路机振动系统 的故障检测与维修 .....	140
3.6.4 IPF-85B-2 型混凝土泵车液压 系统的故障分析与处理 .....	107	4.3.4 YZ18 型压路机液压振动系统的 故障分析与排除 .....	140
3.6.5 HBT60 型混凝土泵液压系统的 改进 .....	110	4.3.5 振动压路机减小振动液压冲击 的方法 .....	143
3.6.6 某型号混凝土泵液压系统的改 进 .....	111	4.3.6 振动压路机液压振动系统的改 进 .....	145
<b>第 4 章 振动压路机液压故障案例     分析 .....</b>	<b>115</b>	4.3.7 振动压路机液压马达的动态压 力测试及分析 .....	147
4.1 振动压路机液压控制系统及其使用		4.3.8 W1102 型振动压路机液压系统	

的故障检测 .....	149	分析 .....	186
4.3.9 YZ14 型振动压路机振动故障的 诊断与排除 .....	151	5.3.10 摊铺机振捣装置液压系统的 改进 .....	188
4.3.10 YZ26C 型压路机液压振动系统 的故障处理 .....	153	5.4 摊铺机液压油温过高问题的分析 与处理 .....	189
4.3.11 BW202AD-2 型压路机振动液压 回路的原理及故障诊断 .....	154	5.4.1 ABG423 型摊铺机液压油温过 高问题的分析与改进 .....	189
4.4 压路机液压故障综合诊断案例 .....	155	5.4.2 ABG423 型沥青路面摊铺机液 压油温度过高的分析与处理 .....	190
4.4.1 BW214D 型压路机振动液压系 统的分析与故障诊断 .....	155	<b>第 6 章 稳定土拌和机液压故障案例     分析 .....</b>	<b>192</b>
4.4.2 YZT14G 型液压振动压路机故障 的诊断与排除 .....	157	6.1 稳定土拌和机液压系统及其使用与 维修概述 .....	192
4.4.3 压路机振动液压系统的气蚀及 其预防 .....	160	6.1.1 稳定土拌和机液压系统 .....	192
<b>第 5 章 摊铺机液压故障案例分析 .....</b>	<b>163</b>	6.1.2 稳定土拌和机液压系统常见故 障及排除 .....	196
5.1 摊铺机液压传动系统及其使用与维 修概述 .....	163	6.2 稳定土拌和机液压故障案例分析 .....	197
5.1.1 沥青混凝土摊铺机液压系统 .....	163	6.2.1 稳定土拌和机转子驱动液压系 统的故障及改进 .....	197
5.1.2 沥青混凝土摊铺机液压系统常 见故障及排除 .....	166	6.2.2 WB 系列稳定土拌和机液压系 统的技术改进 .....	200
5.2 摊铺机行走液压故障案例分析 .....	169	6.2.3 稳定土拌和机闭式液压系统内 油温分析 .....	203
5.2.1 ABG 沥青摊铺机行走回路故障 的分析与排除 .....	169	6.2.4 WBZ21 型稳定土拌和机液压系 统的改造 .....	204
5.2.2 摊铺机不能正常行走故障的排 查 .....	169	6.2.5 WBZ21 型稳定土拌和机不能行 走故障的处理 .....	207
5.3 摊铺机工作机构液压故障案例分析 .....	171	6.2.6 WB120 型稳定土拌和机液压系 统故障的诊断与排除 .....	208
5.3.1 2LTLZ4.5 型轮式摊铺机液压系 统的改进 .....	171	6.2.7 WB210 型稳定土拌和机工作装 置不能升降故障的排除 .....	210
5.3.2 ABG423 型摊铺机电路故障分 析 .....	173	<b>第 7 章 凿岩机液压故障案例分析 .....</b>	<b>212</b>
5.3.3 LTU120 II 型沥青摊铺机故障的 分析 .....	174	7.1 凿岩机液压系统及其使用与维修概 述 .....	212
5.3.4 SF-350 型摊铺机液压平板振动 器系统的故障分析与排除 .....	177	7.1.1 液压凿岩机 .....	212
5.3.5 2LTLZ45 型沥青摊铺机液压系 统的改进 .....	180	7.1.2 凿岩机液压系统常见故障与排 除 .....	212
5.3.6 利用故障树排除摊铺机料斗不 能合拢的故障 .....	181	7.2 凿岩机液压系统故障案例分析 .....	214
5.3.7 沥青混凝土摊铺机刮板停转的 故障分析 .....	183	7.2.1 Cop1038HD 型凿岩机液压系统 的故障诊断及对策 .....	214
5.3.8 沥青混凝土摊铺机调平回路故 障的分析 .....	185	7.2.2 HCR/Z-S 型凿岩机自动调速失 效的故障分析与处理 .....	216
5.3.9 摊铺机熨平板液压缸故障的			

7.2.3 凿岩台车液压系统典型故障的非接触快速精确诊断 .....	217	<b>例分析</b> .....	264
7.2.4 凿岩台车防卡系统的改造 .....	220	10.1 桥梁建筑设备液压故障案例分析 .....	264
7.2.5 液压凿岩机柱塞泵供油不足故障的分析与排除 .....	223	10.1.1 900t 高铁架桥机主梁前后支腿电液同步系统的改进 .....	264
<b>第 8 章 液压破碎锤故障案例分析</b> .....	225	10.1.2 DJ-40/120 型步履式单导梁架桥机液压系统的改造 .....	266
8.1 液压破碎锤及其使用与维修概述 .....	225	10.1.3 架桥机支腿液压缸发生故障的原因分析及对策 .....	267
8.1.1 液压破碎锤概况 .....	225	10.1.4 TP75 型节段拼装式架桥机液压系统的设计、试验及问题处理 .....	268
8.1.2 液压破碎锤的常见故障及排除 .....	226	10.1.5 液压锁不能开启的原因分析 .....	272
8.2 液压故障案例分析 .....	230	10.1.6 架桥机支柱液压缸损坏的分析 .....	273
8.2.1 某型号液压破碎锤活塞损坏的主要形式及原因分析 .....	230	10.1.7 多级套筒伸缩式双作用液压缸的故障分析及改进 .....	276
8.2.2 液压破碎锤低压过滤器底阀爆破现象的分析 .....	232	10.2 隧道建设施工机械液压故障案例分析 .....	277
8.2.3 液压破碎锤缸体与活塞的修复 .....	236	10.2.1 H169 型二臂液压台车的改造 .....	277
8.2.4 液压破碎锤密封泄漏的分析与改造 .....	237	10.2.2 KL-20ES 型隧道挖装机液压系统的改造 .....	279
<b>第 9 章 铁路建设施工机械液压故障案例分析</b> .....	241	10.2.3 用比较法排除挖装机行走系统的液压故障 .....	282
9.1 捣固车液压故障案例分析 .....	241	10.2.4 利用混凝土泵水洗系统改制注浆机 .....	284
9.1.1 捣固车液压系统及其使用与维修概述 .....	241	10.3 桩机与打夯机液压故障案例分析 .....	288
9.1.2 08-32 型捣固车作业走行驱动系统故障的分析与改造 .....	244	10.3.1 抱夹式液压静力压桩机的全液压自动压桩系统 .....	288
9.1.3 08-32 型捣固车液压作业系统压力不稳的原因及解决 .....	246	10.3.2 IPD-80 型桩机液压油油温异常的故障诊断与排除 .....	291
9.1.4 16 镐液压捣固车技术问题的分析与改进 .....	249	10.3.3 桩机压力偏低故障的诊断及修理 .....	292
9.1.5 D08-32 型捣固车液压系统问题的分析与处理 .....	252	10.3.4 静压管桩机滑桩的原因分析及故障处理 .....	294
9.2 清筛机与配碴整形车液压故障案例分析 .....	255	10.3.5 D500 型车式液压打夯机液压系统分析及改进 .....	296
9.2.1 RM80 型清筛机离合器烧损的原因分析及对策 .....	255	<b>参考文献</b> .....	299
9.2.2 RM80 型清筛机液压应急系统的改造 .....	258		
9.2.3 SSP103 型配碴整形车液压故障的诊断与排除 .....	261		
<b>第 10 章 其他建筑设备液压故障案</b>			

# 第 1 章 盾构机液压故障案例分析

## 1.1 盾构机液压系统概述

轨道交通以其快速、便捷、运量大、无污染等优势，迅速成为缓解城市交通拥挤的首选方案。与此同时，盾构法隧道施工也得到了日益广泛的应用。

### 1.1.1 盾构机液压系统的组成与特点

盾构施工是在一个能支撑地层压力而又能在地层中推进的圆形（或矩形、马蹄形等特殊形状）钢筒结构下，完成挖掘、出土、隧道支护等工作的。它的最大特点就是整个隧道掘进过程都是在这个被称做护盾的钢结构下完成的，可以最大限度地避免隧道坍塌和地面塌陷。与传统的隧道掘进技术相比，盾构法施工具有安全可靠、机械化程度高、工作环境好、土方量少、进度快、施工成本低等优点，尤其在地质条件复杂、地下水位高而隧道埋下较深的条件下，只能依赖盾构施工。

盾构掘进技术是液压技术、机电控制技术、测控技术、计算机技术、材料技术等各类技术发展水平的综合体现，并随着这些相关技术的发展而不断发展完善。

盾构掘进机传递功率大（一般超过1000kW），运动复杂，要求控制精度高，安装空间小，并且工作环境恶劣。近年迅速发展的电液控制（系统）技术，综合利用了电子技术在信号检测、放大、处理和传输方面的优势和液压在功率转换放大和执行上的优势，已经成了盾构动力传递和控制的首选。其电液控制系统的典型原理框图如图 1-1 所示。

在压力、流量等参数通过机械/液压反馈形成“小闭环”的基础上，土压、推进速度、刀盘转速、出土量等盾构工作参数可以通过电反馈的形式形成“大闭环”，采用适当的控制策略使盾构施工的地面沉降控制、推进速度和方向控制、刀盘切削功率控制等实现智能化。

盾构掘进机刀盘驱动或推进具有功率大、功率变化范围宽的特点。负载是随断面的土质状况变化的，切削硬岩和切削软土所需的切削力矩及转速的变化很大。如果采用阀控液压马达的系统形式，系统功率必然按所需的最大功率设计。而在遇到欠负载工况时系统效率低下，大量的功率将通过热的形式耗散，使系统发热严重。故采用负载敏感和全局功率自适应的泵控液压马达/液压缸系统是解决这一问题的有效途径，也是盾构液压驱动的发展趋势。

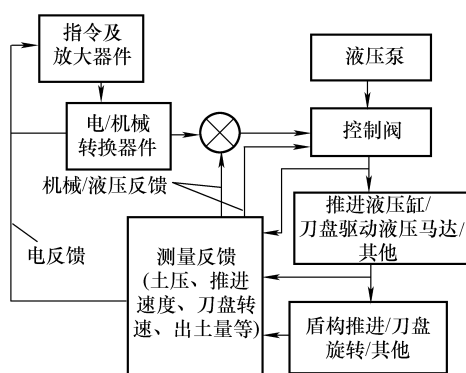


图 1-1 盾构机电液控制系统的典型原理框图

### 1.1.2 盾构推进液压系统

推进系统是盾构的关键系统，它主要承担着盾构的顶进任务，要求完成盾构的转弯、曲线行进、姿态控制、纠偏及同步运动等功能。推进系统的控制目标是在克服盾构推进过程中遇到推进阻力的前提下，根据所处的不同施工地层土质及其土压力的变化，对推进速度及推进压力进行无级协调调节，从而有效地控制地表沉降、减少地表变形，避免不必要的超挖和欠挖。

#### 1. 基本构成

盾构推进液压系统一般由主驱动泵、液压控制阀、推进液压缸及液压管路等组成。推进液压缸安装在密封舱隔板后部，沿盾体周向均匀分布，是推进系统的执行机构。推进系统由安放在盾尾的主驱动泵提供高压油，通过各类液压阀的控制来实现各种功能。

某盾构推进系统结构如图 1-2 所示，采用 6 个液压缸作为推进系统的执行机构，左右对称分布。每个液压缸均内置有 1 个磁致伸缩式位移传感器，可实时测量液压缸的推进位移。

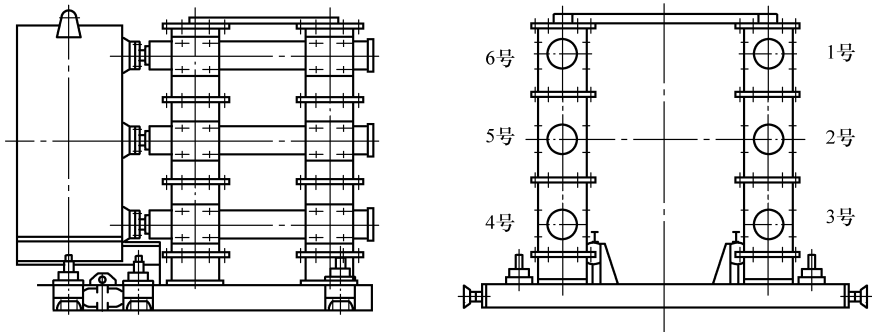


图 1-2 某盾构推进系统结构简图

推进液压系统在主油路上采用变量泵实现压力自适应控制；对于 6 个执行元件液压缸，则模拟实际盾构的控制方式，将其分为 6 组进行分组控制。各个分组中的控制模块都相同，均由比例溢流阀、比例调速阀、电磁换向阀、辅助阀及相关检测元件等组成。图 1-3 所示为某盾构机推进液压系统的工作原理简图。

#### 2. 控制过程

盾构推进时，二位四通电磁换向阀 10 得电，二位二通电磁换向阀 1 断电，系统经比例调速阀 2 供油，此时三位四通电磁换向阀 9 切换到工作状态 *B* 位置，液压缸 6 的活塞杆向前运动。推进过程中，液压缸 6 中的内置式位移传感器 7 实时检测推进位移，转换成电信号反馈到比例调速阀 2 的比例电磁铁上，控制比例调速阀 2 中节流口的开度，从而实现推进速度的实时控制，此时系统中多余的流量可从比例溢流阀 3 中流出。为了实现姿态调整，还必须实时控制推进压力，此时可由压力传感器 5 检测液压缸 6 的推进压力，转换成电信号反馈到比例溢流阀 3 的比例电磁铁上，控制比例溢流阀 3 的节流口开度来实现。分组中的比例溢流阀 3 和比例调速阀 2 与压力传感器 5 和位移传感器 7 一起构成压力-流量复合控制，可实时控制推进系统的推进压力和推进速度，满足盾构推进过程中随时变化的推进压力和推进速度的要求。

快速回退时，二位二通电磁换向阀 1 得电，短路比例调速阀 2，系统采用大流量供油，

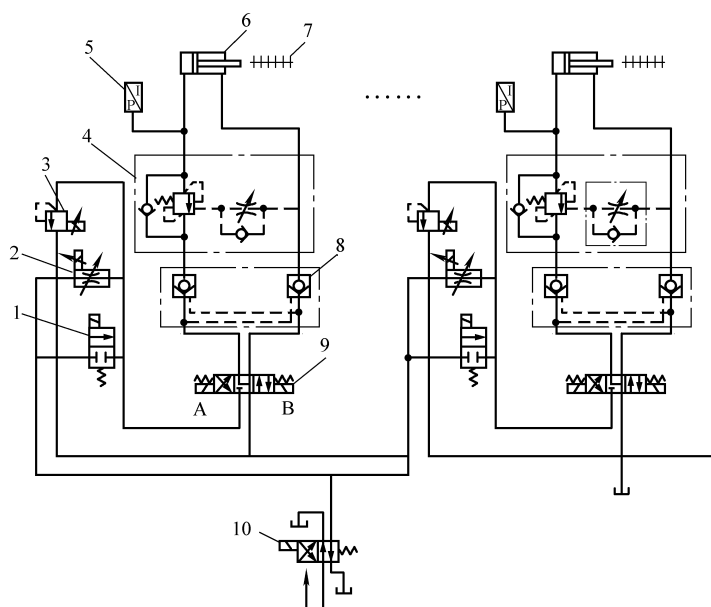


图 1-3 某盾构机推进液压系统工作原理简图

1—二位二通电磁换向阀 2—比例调速阀 3—比例溢流阀 4—平衡阀 5—压力传感器 6—液压缸 7—位移传感器 8—液压锁 9—三位四通电磁换向阀  
10—二位四通电磁换向阀

此时三位四通电磁换向阀9切换到工作状态A位置，液压缸6的活塞杆快速回退，以满足管片拼装的要求。

液压锁8与具有Y型中位机能的三位四通电磁换向阀9组合在一起成为锁紧回路，中位停止时可很好地防止液压油的泄漏。液压缸回退时，平衡阀4能起到使运动平稳的作用。多个液压缸同时动作时，二位四通电磁换向阀10断电，主油路暂时断开，待多个液压缸控制信号到位后，再使二位四通电磁换向阀10得电，主油路导通，从而使得多个液压缸同时工作。

### 1.1.3 刀盘驱动液压系统

某盾构机刀盘驱动液压系统采用变量泵-变量液压马达闭式容积调速回路。系统主泵采用两台用于闭式回路的斜盘式双向比例变量柱塞泵，主泵同时集成了补油液压泵、闭式回路控制回路和主泵变量控制回路。系统的液压马达采用1台轴向柱塞变量液压马达，变量液压马达通过变速器与小齿轮驱动主轴承大齿轮，带动刀盘产生旋转切削运动。驱动装置可以实现双向旋转，转速可以在0~9.8r/min范围内无级可调，还可实现刀盘脱困功能。

#### 1. 刀盘转速控制和旋转方向控制

主泵的变量形式为电液比例变量，主泵工作原理如图1-4所示。泵的输出流量可以根据输入比例电磁阀电信号的大小实现无级可调，从而满足刀盘旋转速度的变化要求。

电液比例控制的结构比较复杂，但可控性能好，可组成不同形式的反馈。刀盘驱动系统主泵的变量机构采用调节器设定泵的流量，从而调节液压马达的转速，即通过液压马达转速传感器反馈刀盘液压马达实际转速。如果与给定信号产生偏差，利用偏差信号改变泵的排量

使刀盘液压马达转速与设定值相同。

刀盘正向旋转时，比例电磁铁 *a* 通电，比例换向阀左位工作，液压泵正向输出油液，伺服缸右腔压力推动伺服缸活塞左移，活塞杆推动变量机构改变柱塞泵的斜盘倾角，改变泵的排量，从而改变液压泵的输出流量。当比例电磁铁 *a* 电流增加时，比例换向阀的阀芯与阀体开口增大，通过阀的压力降减小，伺服缸右腔压力增高，活塞继续左移，斜盘倾角增加，主泵输出流量增加。比例电磁铁 *a*、*b* 都不带电时，泵不输出流量，液压马达停止转动。

为了克服盾构机在掘进过程中的滚转现象，保持盾构机的正确姿态，必须通过刀盘反向旋转来调整。液压马达反转时，使比例电磁铁 *b* 带电，液压泵反方向输出流量，并随着输入电流的增加而流量增大。

通过控制比例电磁铁 *a*、*b* 通电状态可以实现刀盘的双向旋转，控制比例电磁铁输入电流的大小，实现刀盘转速的调节。

## 2. 刀盘的脱困和系统的安全控制

主泵变量机构还加入了二级压力切断装置，当主泵的任何一個出口压力超过设定值时，变量机构使泵的排量接近于零，输出的流量只补充泵的泄漏，实现泵的超压卸载，这种方式不存在溢流能量损失，系统效率高。卸载压力一级为 28MPa，为系统正常工作时的安全压力，由溢流阀 3 设定；另一级为脱困时用，压力为 35MPa，由溢流阀 4 设定。当二位三通换向阀 2 通电时，刀盘为脱困工况。所选择的主泵还集成有补油液压泵和闭式回路控制回路，通过集成使系统结构简单，减少了管路和降低了泄漏，便于维护和使用。补油液压泵有三个作用，即为闭式回路补油、强制冷却和控制主泵变量机构。补油液压泵首先用来补充液压泵、液压马达及管路等处的泄漏损失，并通过更换部分主油路油液来控制系统中油液的温度。系统中的补油压力为主泵的吸油口压力，补油液压泵的流量为 76L/min。补油液压泵通过两个单向阀分别向系统中回油管路补油。刀盘驱动液压系统变量控制机构的控制油分别通过单向阀引自泵的两个油口和补油液压泵，使控制油始终接有压力和流量。当泵处于正、反向转换时，泵处于零排量工况，没有液压油输出，控制油来自补油液压泵，补油液压泵的控制油压力由顺序阀设定。此时，外控顺序阀由于主油路没有压力而关闭，需利用补油液压泵的压力驱动变量机构，保证主泵换向。

系统中采用两个先导溢流阀实现缓冲，当液压马达制动时，由于惯性，会产生前冲，此

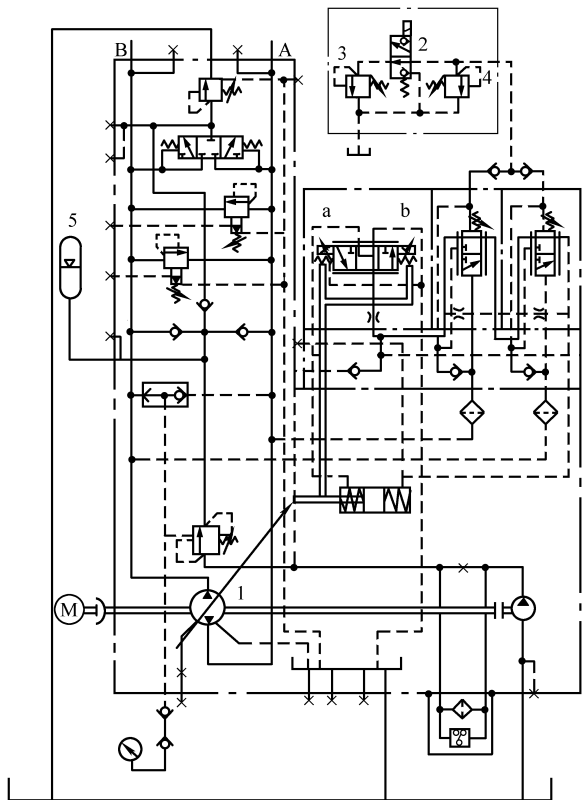


图 14 某盾构机主泵工作原理

1—主泵 2—二位三通换向阀 3、4—溢流阀 5—蓄能器

时泵已停止供油，因此在液压马达排油管路会产生瞬时高压，使液压系统产生很大的冲击和振动，严重时造成损坏，因此，在回路设置溢流阀可以使系统超压时，溢流阀打开，回油至液压马达进油管路，减缓管路中的液压冲击，实现液压马达制动。

系统选用2台主泵进行工作，正常掘进工作时，2台主泵同时工作，当有1台主泵出现故障时，系统还可以继续用单泵工作，保证盾构机工作的可靠性。

### 3. 刀盘的两级速度范围控制

盾构机掘进时要求满足在软、硬岩不同的地质工况下的掘进。在软土层中掘进时，由于地层自稳性能极差，要求刀盘转速低，应控制在 $1.5\text{r/min}$ 左右，此时要求刀盘输出转矩大；硬岩挖掘时，刀盘转速高，而转矩小。为了满足上述要求，盾构机在软土掘进时需增大液压马达排量，降低液压马达转速；在硬岩掘进时需降低排量，增加转速。

系统可以实现软岩掘进时，转速为 $0\sim 2.96\text{r/min}$ ，转矩为 $1114\text{kN}\cdot\text{m}$ ；硬岩掘进时，转速为 $0\sim 9.87\text{r/min}$ ，转矩为 $334\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

刀盘驱动液压系统的执行元件为用于闭式回路的斜轴式双向压力控制比例变量柱塞液压马达。液压马达变量为外控式，其工作原理如图1-5所示。液压马达的排量可以通过变量机构实现无级可调，通过系统中比例减压阀输入液控压力信号控制液压马达排量无级变化，液压马达的排量随着控制压力的增高而减小。

### 4. 刀盘驱动液压系统的节能控制

刀盘驱动液压系统采用变量泵-变量液压马达容积调速回路，通过改变液压泵和液压马达的排量来调节执行元件的运动速度，且系统的调速范围宽。该回路液压泵输出的流量与负载流量相适应，没有溢流损失和节流损失，回路效率高。刀盘驱动控制系统需要液压马达实现低速、大转矩和高速、小转矩，因此采用调节液压马达的排量极其有利。如果用变量泵和定量液压马达组成液压调速系统，在高速、小转矩时，泵将运行在低压、大流量场合；在低速大转矩时，泵将运行在高压、小排量场合，因而泵及整个液压系统都需要按高压、大流量参数选择，系统效率不高。若采用变量液压马达，可以让液压马达在小排量工况下运行来满足高速、小转矩要求；液压马达在大排量工况下运行来达到低速、大转矩要求。这样，泵基本上处于高压下运行，充分发挥了泵的能力。在这种系统中，泵和系统本身的流量都比较小，从而可降低系统成本，回路效率高。

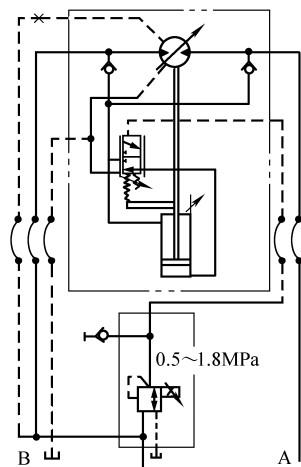


图 1-5 某盾构机液压马达工作原理

## 1.2 盾构机推进系统液压故障案例分析

推进系统受到的制约条件很多，在盾构机掘进中推进系统有时无法推进，故障也很难排除。

### 1.2.1 海瑞克 S266 型土压平衡盾构机推进系统的故障排除

以下以海瑞克 S266 型土压平衡盾构机用于在某市地铁四号线仑大盾构区间和地铁五号

线杨珠盾构区间施工为例分析故障排除过程。

### 1. 盾构机推进系统的工作原理

图 1-6 所示为 S266 型盾构机推进液压系统 A 组原理及液压缸布置图。在图 1-6 中推进液压缸 Z1 ~ Z30, 共有 30 个, 其中 Z4、Z11、Z19、Z26 是带有行程测量系统的液压缸, 通过这 4 个液压缸可以在盾构机的操作室中显示各自代表组的液压缸行程 (0 ~ 2000mm)。液压缸按单缸和双缸间隔均匀布置, 被分配以 20 个不同的编号 (1 ~ 20), 按上下左右分为 4 组, A 组包括圆周上方的液压缸 1、2、18、19 和 20, 图 1-6 给出了 A 组推进液压缸控制阀和 18 号液压缸的回路, B、C、D 组液压缸的回路与 A 组相同, 盾构机的推进系统由 75kW 的电动机驱动推进液压泵 9 向各推进液压缸提供液压油。

盾构机的推进系统有两种工作模式: 一种是掘进模式, 另一种是管片拼装模式。在掘进模式下, PLC 控制系统根据盾构机操作人员的操作指令, 通过调节电磁比例控制阀 2 和阀 3 输出的电信号来控制盾构机的掘进, 通过阀 2 可以控制该组液压缸的流量, 通过阀 3 可以控制该组液压缸的工作压力。在盾构机需要调节方向时, 控制阀 2 在保证该组液压缸流量充足的条件下调节阀 3 增加或减小该组液压缸的液压油压力, 从而实现盾构机调节方向; 在管片拼装模式下, PLC 控制系统根据设定值向控制阀 3、阀 6 和阀 10 输出电信号, 通过阀 6 增大该组液压缸的流量, 通过阀 3 控制该组液压缸的工作压力, 通过阀 10 控制推进液压泵的工作压力。在拼装模式下, 阀 3 和阀 10 控制的工作压力值基本是相同的。拼装模式下伸液压缸时通过控制阀 5 阀芯在右侧实现液压缸伸出, 拼装模式下缩液压缸时阀 7 先打开约 2s 将液压缸无杆腔的高压油卸压后, 阀 1 和阀 5 再同时动作, 实现液压缸的缩回, 这样可以减小液压缸的冲击。

### 2. 盾构机推进允许的条件

盾构机的推进受诸多因素的影响, 主要概括为以下几点:

- 1) 推进电动机起动。
- 2) 盾尾注密封脂起动。
- 3) 高压电缆限位正常。
- 4) 水管卷筒限位正常。
- 5) 4 个液压缸组未出现故障。
- 6) 刀盘转速大于 0 或螺栓输送机与传动带级联开启。
- 7) 刀盘液压系统最大压力小于设定的最大压力。
- 8) 铰接液压缸行程小于最大设定值。
- 9) 后配套液压缸液压油压力小于参数设定值。

### 3. 四号线仑大区间推进系统的故障分析与排除

(1) 故障现象 盾构机准备开始掘进时, 操作人员起动推进系统进行推进, 推进液压泵正常起动, 但调节液压缸组压力时油压一直处在起动压力 (约 1.4MPa) 下, 各组液压缸压力不升高, 无法推进。

(2) 故障分析与排除 从故障现象可以看出, 盾构机不允许推进, 一定是某个条件未满足。首先检查两项盾构机推进允许的条件, 没有发现异常。当将推进系统处于管片拼装模式时, 推进液压缸的伸缩及油压都正常。由此可以判断, 管片拼装模式下所有的工作阀都是正常的, 没有损坏。在掘进模式下检查推进系统液压缸组流量控制阀 2 和工作压力控制阀 3

电信号是否正常,经检查发现都正常。因为从各方面都检查不出问题,只能再详细检查盾构机掘进情况下各参数值与以前正常掘进时有什么不同。最后发现主控室显示屏上盾构机掘进压力值异常,显示为40MPa,此值是从推进液压泵的压力传感器11(见图1-6)从液压泵的液压油出口向PLC输送的一个信号。检查此传感器发现,施工人员上台车时将传感器踩坏,电信号线折断。将此传感器更换,故障排除。

(3) 故障产生原因 为何推进液压泵的压力传感器11能控制到盾构机的推进呢?通过S266盾构机上PLC程序对盾构机的推进系统进行了详细的分析。盾构机每组液压缸的压力调节按钮对PLC的输入值加上2.5MPa作为相应组推进液压缸的压力控制值a控制盾构机相应组液压缸的压力控制阀3,而相应组液压缸的压力传感器值的最大值加上2MPa的最大值b与推进液压泵的压力传感器11的值保持动态平衡,动态调节推进液压泵压力控制阀10,从而保持各组推进液压缸的压力值,控制盾构机的转向。简单地说,就是如果增大A组液压缸的压力控制阀3的调定值,则此时A组液压缸压力传感器8的实际值变得不足,而液压缸组压力最大值b要与压力传感器11的值保持相等,所以PLC要调节压力控制阀10,增大压力使液压缸组压力最大值b和压力传感器11的压力值保持相等。由于压力传感器11已经损坏,无法与压力传感器8进行动态平衡,所以无法对压力控制阀10输出电信号,因此各组液压缸的压力无法调节。当压力传感器11更换后,盾构机的推进系统恢复正常。

#### 4. 五号线杨珠盾构区间推进系统的故障分析与排除

(1) 故障现象 地铁五号线杨珠区间盾构机组装完成后,在进行推进系统调试时,盾构机在推进系统管片拼装模式下,应单个推进液压缸在进行伸缩时,却有几个推进液压缸同时伸出。

(2) 故障分析与排除 推进液压缸伸出,是推进液压缸的无杆腔进油导致的。当伸出液压缸的前方有障碍物出现时,液压缸的推进力又很小,说明出现故障液压缸的液压油压力很小。检查伸出液压缸的推进主阀5未发现异常。根据推进系统液压原理,当阀5工作正常的情况下,液压缸伸出时应该是液压缸的有杆腔和无杆腔都存在一定的油压,由于承压面积不同而导致液压缸伸出。在这样的情况下,单向阀12(见图1-6)失效后,同时回油的过滤器有一定的阻力才会产生故障。将盾构机液压油箱的回油过滤器拆除更新后,此故障消失。以后,在盾构机拼装时未出现此故障。

(3) 故障产生原因 盾构机的停置时间过长,导致盾构机推进系统的单向阀12(见图1-6)有些锈蚀,致使单向阀失效。同时,回油过滤器过滤效果不好,过滤前后存在压差,从而导致液压缸伸出。当回油过滤器更新后,且过滤效果良好,过滤器前无压力,从而排除了故障。当盾构机掘进系统正常工作后,单向阀12由于经常工作又恢复正常。

土压平衡盾构机掘进系统在盾构机液压系统中是非常关键的一部分,此液压系统出现的故障是最常见的也是最难排除的,机械工程师在掌握液压系统的同时也要熟练掌握其电气系统,尤其是PLC部分(程序的相关知识)。

### 1.2.2 小松土压平衡盾构机推进系统的故障诊断与修复

土压平衡式盾构机的基本工作原理是盾构机在推进掘削开挖面土体的同时,使掘削的碴土充满土仓,并且在推进液压缸的推力作用下,使土仓内充满的碴土具有一定的压力,土仓内的碴土压力与隧道开挖面上的水土压力实现动态平衡。推进系统的好坏会直接影响着盾构

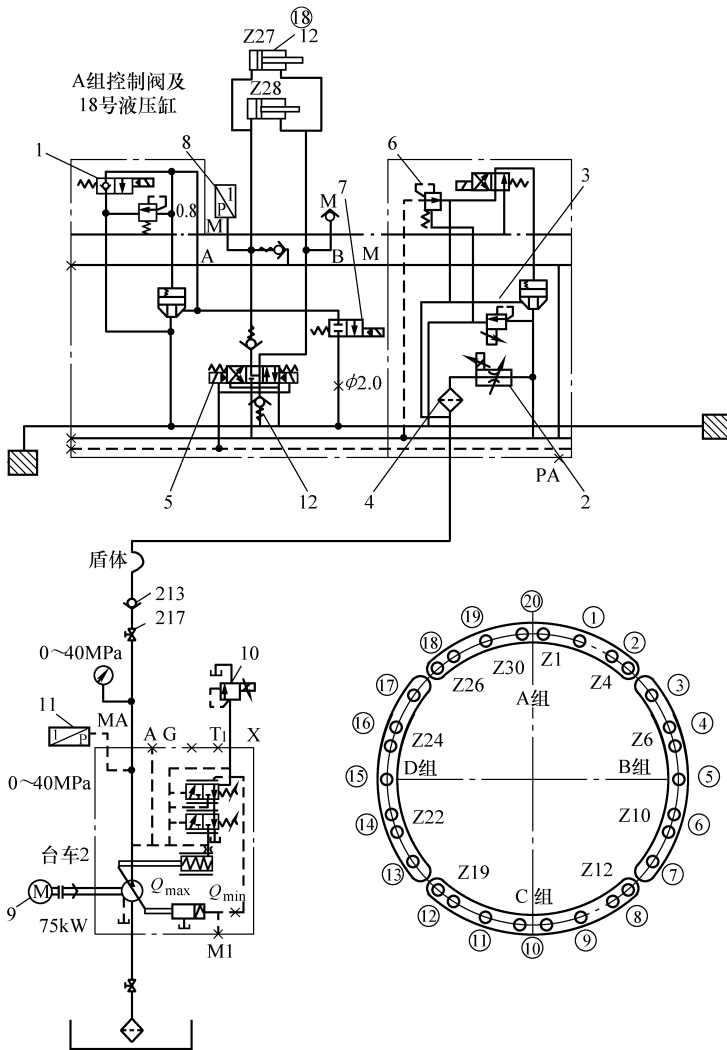


图 1-6 S266 型盾构机推进液压系统 A 组原理及液压缸布置图

- 1—拼装模式液压缸流量控制阀 2—液压缸组流量控制阀 3—液压缸组压力控制阀  
 4—过滤器 5—液压缸推进控制阀 6—拼装模式液压缸组流量控制阀 7—拼装模式液压缸预卸压阀 8—液压缸组压力传感器 9—75kW 电动机及推进泵  
 10—液压泵压力控制阀 11—推进液压泵压力传感器 12—单向阀

施工的工期与质量。

### 1. 故障现象

拼装完管片进行掘进，刚开始推进速度为 30mm/min，推力在 28000kN 左右。随着盾构机的向前移动，推力一直会增加到 31000kN 左右，然后推进速度急剧下降，从 30mm/min 左右降低到 5mm/min 以下，最终被迫停止掘进。由掘进模式变换为管片拼装模式，收缩推进液压缸。推进液压缸收缩完成后继续掘进，推进速度又会提高到 30mm/min，推力为 28000kN 左右。来回循环 20 多次，花费一个多小时，才能完成一环管片宽度的掘进任务。

### 2. 原因分析

(1) 盾构推力不足 盾构推力由壳体外周摩擦阻力、胸板所受的土压与水压、后续设

备的牵引力、管片与盾尾密封的摩擦阻力等组成。其中，壳体外周摩擦阻力的推力与胸板所受的土压和水压的推力占主导地位。根据勘察文件的内容，区间隧道盾构穿越地层主要为砾砂层，水位为 7.5 ~ 11.6m，相对于绝对标高 32.33 ~ 36.90m，地下水常年水位变幅约 2m。这种地层条件就要求盾构推进力  $F_1$  为 31000kN 左右。

在现场，用铰接液压缸推进（只推动刀盘与前盾体），推力为 5000kN，然后用推进液压缸只推动中盾体与盾尾，推力显示为 26000kN。从测试数据得出分解推力之和与总推力吻合。

本盾构机配置 22 只推力为 1715kN 的液压缸。

1) 装备总推力：

$$F = 1715\text{kN} \times 22 = 37730\text{kN}$$

2) 推进使用 22 只液压缸时的推力储备系数：

$$F/F_1 = 37730/31000 = 1.2$$

由计算可知，盾构还是有充足的推力的，故排除了盾构推力不足的原因。

(2) 自动控制系统故障 小松土压平衡盾构机在自动土压控制时，螺旋机转速、推进速度与刀盘转速处在互锁状态。当计测土压与目标土压的差大于允许值时会中断自动控制，即停止推进液压缸的推进，停止螺旋输送机的旋转。

自动土压控制装置通过安装在盾构机土仓隔壁上的土压计对掘进中的土压进行常时监控，利用安装在后续台车上的操作盘内的 PLC 计算出与操作目标值（管理土压值）的差值，通过 PID 控制，自动调整掘进参数值。自动控制期间，当计测值在目标值附近时，螺旋输送机有时会发生旋转速度反复上下微量跳动的现象，还有可能引起喷渣，这属于正常现象。

此时盾构没有使用自动土压控制，即不会造成推力增加到 31000kN 左右时，推进速度急剧下降的现象。因此，该原因也被排除。

(3) 推进液压缸和液压泵故障 此推进系统的额定液压油流量为 107L/min，额定压力为 29.9MPa，推进液压缸的全伸速度为 0 ~ 8.5cm/min。推进泵 K3VG112-11FR-0E，属于大排量、高压力的旋转斜盘式轴向柱塞泵，其控制方式为电子流量控制变量，即通过指令电压调节电磁比例减压阀可以就排出流量进行无级调整。这是一种节能控制方案，在保证达到与输入信号相应的流量时，使泵的出口压力最低，不会因为负载压力到达高压自动减少泵的排量，并以此来维持系统高压。而当系统压力到达额定的压力时，由系统的三级压力溢流阀溢流保压。

现场测试泵源，泵压力随推力的增大而增大，一直增加到额定压力（29MPa），这种关系都保持不变，说明泵没问题。因此，该原因也被排除。

(4) 主要液压控制器件故障 系统中所用的三级压力溢流阀组（原理见图 1-7）出现异常，推进速度是不可控的。

该三级压力溢流阀组是三个先导溢流阀与一个电磁换向阀组合的柱塞平衡式溢流阀，由电磁换向阀的电信号将回路压力控制在三个不同等级上。在图 1-7 上标有（1）的为推进压力，29.9MPa；标有（2）的为系统的保护压力，30.9MPa；标有（3）的为管片安装模式下的推进压力，4.9MPa。在现场发现，推进压力为 30MPa，系统的保护压力为 29MPa。因此可以确定，压力不正常是造成推进故障的主要原因。