

文章编号:1006-2106(2006)03-0040-04

盾构可编程控制器(PLC)系统设计研究*

唐 健**

(中铁隧道集团有限公司, 河南 洛阳 471009)

摘要: 研究目的:自主开发设计盾构可编程控制器(PLC)系统,掌握盾构国产化研究的关键技术。

研究方法:针对盾构的结构特点,进行可编程控制器(PLC)的选型;通过对土压平衡盾构的工况、工作流程及功能要求分析,从系统设计、硬件配置、程序编写等方面对 PLC 控制系统的设计研究进行详细阐述,体现了检修维护方便,扩充灵活,降低造价的设计优点;从土压平衡控制、姿态控制、推进缸速度与压力协调控制等方面,对盾构的主要动作的控制原理进行了说明;并介绍了计算机控制系统对盾构进行参数设置、故障诊断,远程监视、数据采集分析的基本功能。

研究结果:已基本完成 PLC 控制系统的设计,为实现盾构可编程控制器(PLC)控制系统的国产化打下了基础。

研究结论:对盾构可编程控制器(PLC)系统的设计研究,已列入国家“863”攻关计划,为国产盾构的开发提供了试验参考。

关键词:盾构;控制系统;可编程控制器(PLC);选型;设计研究

中图分类号:U455.3*9 **文献标识码:**A

Research and Design on the Programmable Logic Controller System in Shield Machine

TANG Jian

(China Railway Tunnel Group Co. Ltd., Luoyang, Henan 471009, China)

Abstract: **Research purposes:** develop PLC control system of EPB shield and master the key technology for localization of shield machine manufacture.

Research methods: The paper introduced the PLC control system of EPB shield machine on the respect of design, hardware configuration, control principle, programming language and type selection of PLC control system, esp. the control principle on earth pressure, stance of shield machine, progressing speed and thrust pressure. It introduced the basic requirements of computer control system on parameter configuration, fault diagnosis and remote monitoring and data collection of shield machine as well.

Research results: The design of PLC system was completed basically, which laid foundation for the localization of PLC system in Shield machine.

Research conclusions: Research and design on the Programmable Logic Controller (PLC) System in shield machine has been listed in the national plan 863, which provided experimental references for domestically made PLC control system of shield machine.

Key words: shield machine; controlling system; programmable logic controller (PLC); type selecting; design and research

* 收稿日期:2006-03-23

** 作者简介:唐健,1959年出生,男,高级工程师。

盾构是集开挖、支护、出碴、衬砌等多种作业于一体的大型隧道施工机械,具有对围岩扰动小、防止土体坍塌、安装衬砌方便、施工安全、快速、高效的特点。在软弱围岩等复杂的地质条件下施工,是在不同地质条件下快速修建地下隧道的一种最先进的施工方法。目前盾构法施工技术在上世界已被广泛采用,与其他工法相比,盾构法施工的机械化、自动化程度高、速度快、质量好、安全可靠,施工过程完全是工厂化流水作业,极大地改善了隧道施工的条件与环境。

目前发达国家盾构设计制造与施工技术较为先进,尤以德国和日本的技术力量最为雄厚,随着我国经济的快速发展,对盾构的需求越来越大,目前国内已有近100台盾构,仅中铁隧道集团就引进了十多台盾构。国内在用盾构基本上都是进口,国内盾构的开发才刚刚起步,因此尽快开展盾构关键技术的研究,并逐步突破主机生产,开发出具有自主知识产权的国产盾构是十分必要的。目前,中铁隧道集团已成立了盾构研发项目部,开展了盾构国产化研究工作,本文就盾构 PLC 控制系统开发过程中的选型、设计和编程等作一简要概述。

1 可编程控制器(PLC)选型

目前,盾构控制系统全部采用可编程控制器(PLC)控制。PLC 对盾构需要监测的各种开关量信号和模拟量信号进行实时扫描检测,在 PLC 接受到控制信号时,经过一定的逻辑联锁检查和时序控制后,按程序设置对一些控制对象做出处理。PLC 向开关量输出口发出高/低电平信号,经中间继电器控制接触器来启(停)电机、开启(关闭)电磁阀,或输出模拟量信号控制比例放大器连续调节比例电磁阀等等,在盾构内所有控制信号全部通过 PLC 进行处理。

由于盾构工作环境恶劣,周围环境温度高、湿度大、灰尘多、干扰多,可靠性要求高,因此选择适合于盾构工况的 PLC 也很重要。目前可供选择的 PLC 品牌较多,如:GE、AB、Modicon、Omron、三菱、西门子等。经过比选,本设计选用的是西门子可编程控制器。西门子可编程控制器与其他品牌的可编程控制器相比具有以下特点:

(1) 在中高档产品中性能价格比有较强优势,应用较广。其他品牌有的价贵,有的容量小。像本系统这样规模的控制系统,西门子 S7-300 或 S7-400 系列是较佳的选择。

(2) 性能稳定可靠。西门子可编程控制器在可靠性方面的表现相当好。

(3) S7-300、S7-400 系列采用模块化结构。模
万方数据

块丰富、组态方便,对分布式控制、网络化管理较方便。本设计中就应用了 2 种网络:Profibus DP 网和以太网(局域网)。

(4) 有特色的分布式 I/O 模块控制特别适合本系统。本控制系统的一个显著特点是,控制点较多而且分散,如果采用集中式控制,则各种连线多而繁;如果采用多 CPU 分布式控制,又使得编程、调试不方便,因为盾构的结构特点,有些分站人员进出不便。而西门子的 ET200M 型分布式 I/O 模块通过 Profibus-DP 网与主站联系,分站设有 CPU 程序,程序统一在主站 CPU 上,这给编程、调试带来了很大方便,调试程序时,只要呆在控制室里,而不必奔波于环境复杂的各分站。

(5) 分站的模块采用的是 S7-300 系列的 I/O 模块,各站的模块种类统一。本设计采用的方案是:主站的 CPU 模块是功能强大的 S7-400 系列的 S7-414 模块,其输入/输出模块与各分站一样都是 S7-300 系列 I/O 模块。这样就可以实现性能不变,降低成本。

(6) 西门子的工业 PC 与其可编程控制器有很好的兼容性。本设计选用的 PC-670 型墙面式工控机就集成有 DP 口和网卡,为系统组态提供了方便。在本设计中,可编程控制器采用现场总线技术,在低压配电控制柜处和盾体处设置 PLC 分站。PLC 主站的 CPU 模块选用西门子 S7-414,PLC 分站与主站间通过 ET200M 组成 Profibus-DP 网,采用这种方案,可以实现用 STEP7 编程语言在主站对分站各点进行控制编程。这给系统调试和维护带来了方便。

2 可编程控制器(PLC)系统设计

PLC 系统是盾构的控制中心,它应能满足盾构各个功能部件对电气动力和电气控制信号的要求,应正确实现对盾构各子系统的控制和监控,并达到各子系统要求的性能参数。由于盾构控制系统被控对象分布范围大,数量相对较多,约有一千多个测控点,属于大型 PLC 控制系统。因此采用主从式、分布式结构有利于提高系统的可维护性、可靠性,有利于控制软件的编制。设计采用的方案是以墙面式工控机为上位机,可编程控制器为下位机组成基于 TCP/IP 的工业以太网,以可编程控制器为主站,智能分布式 I/O 模块为从站的基于 Profibus-DP 协议现场总线的分布式控制系统。这样的控制系统结构方案可以最大限度地减小布线工作量。PLC 程序采用结构化编程,将程序按功能分成不同的功能组分别编程。这样容易发现和检查错误。工控机的上位机程序采用组态软件编程。由于 PLC 和工控机硬件设备已非常成熟,已在大多数工业控制系统中应用,因此在

盾构上应用成功的可行性较高。

盾构 PLC 采用现场总线控制技术,在主控制室设置 PLC 主站,再根据设备的分布情况,在电气设备相对集中的盾体和低压配电柜处设置 PLC 分站,按照就近接线的原则,将分站附近的设备就近接入分站,这样就可以减少大量接线,节约大量电缆,主站与分站之间通过 ET200M 组成 Profibus - DP 网。PLC 主站 CPU 模块采用西门子 S7 - 412,分站采用 ET200M 分布式 I/O,采用这种方案可以实现控制室直接对主站和分站各点控制编程。

分布式 I/O 是可编程控制器的一项新技术,它特别适合像盾构这样控制点多且分散,沿线状分布的场合。

采用现场总线方案的最大优点是:检修维护方便,扩充灵活,降低造价。这也是本设计与德国海瑞克盾

构在电气方面最大的不同之处(德国海瑞克盾构 PLC 控制采用常规集中控制方式,PLC 集中安装在主控制室,所有的控制线和信号线都经过控制室,电缆多,布线困难,使故障查找和维护检修都不方便)。

3 可编程控制器系统硬件配置

可编程控制器系统各控制站输入输出点数统计见表 1。

表 1 可编程控制器输入输出点数统计表

站名	位置	AI	AO	DI	DO
主站	+ ZKG 主控室	20	8	167	114
1 [#] 分站	+ DT 盾壳内	49	11	230	154
2 [#] 分站	+ PDG/8 配电柜	4	3	99	50

PLC 控制系统硬件配置如图 1 所示。

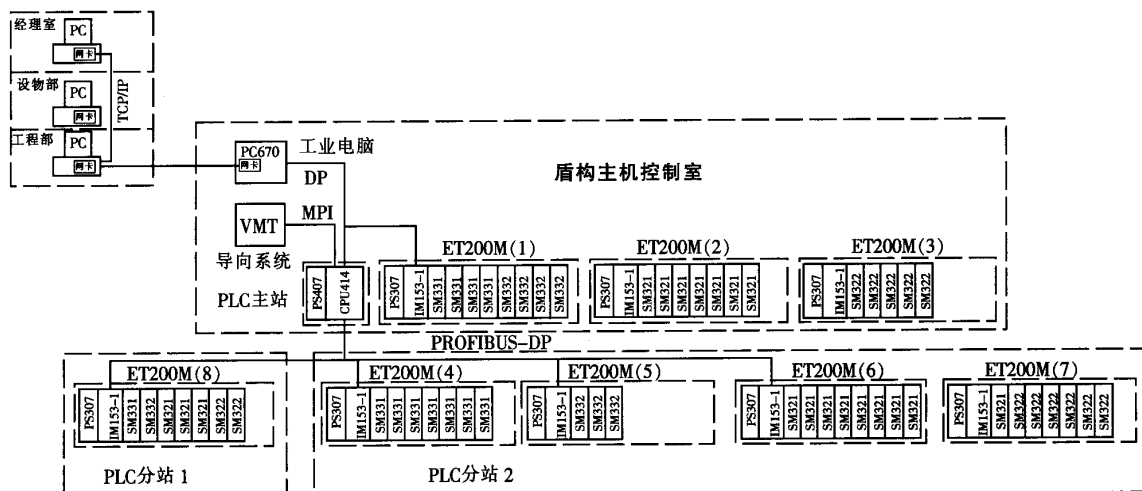


图 1 PLC 控制系统硬件配置图

4 可编程控制器的编程

本系统的可编程控制器是以西门子 S7 - 400 系列的 S7 - 414CPU 模块为中央控制器的。CPU 模块向下通过 Profibus - DP 口与 ET200M 分布式 I/O 模块的 IM153 - 1 接口模块相连。

4.1 PLC 编程

PLC 编程关键是要掌握盾构工况和熟悉工艺流程。首先根据盾构工况和工作流程编制流程图,而后根据流程图进行编程。PLC 程序编程控制流程图如图 2 所示(仅以推进控制为例)。

4.2 PLC 程序结构

PLC 程序是由 Step7 编程语言编写,程序采用模块化结构。根据盾构的各种不同功能和不同工况确定相应的控制模块。主要控制模块包括:控制时序产生、模拟量采集、过滤与冷却回路控制、润滑与齿轮油控制、刀盘驱动控制、推进控制、管片机控制、盾尾油脂控

制、辅助液压系统、膨润土系统、注浆系统、泡沫系统、故障处理、超挖刀控制、变频器控制、电机启停控制、给定值处理、给定值转换、故障记录、系统保护、铰接控制、螺旋输送机控制、控制量处理、脉冲时间处理、脉冲计数、偏差值处理、推进缸压力计算、铰接油缸位移测量、盾尾油脂控制、推进油缸 MTS 位移传感器测量、位移控制、压力调节、压力给定处理、电源故障处理、再触发时间监控、系统复位、重新启动控制等。

5 盾构主要动作控制原理

5.1 土压平衡的实现

土压平衡控制是土压平衡盾构控制技术的关键。本设计对土压平衡的控制主要是开环控制,即依赖于操作人员的手动调节。在操作面板上分别显示刀盘工作区(5 个区:A、B、C、D、E)的推进位移、压力,以及土仓内的土压值,操作人员根据显示数值是否正常来调节推进压力或推进速度或螺旋输送机速度。有 2 种方式来保证土压平衡:

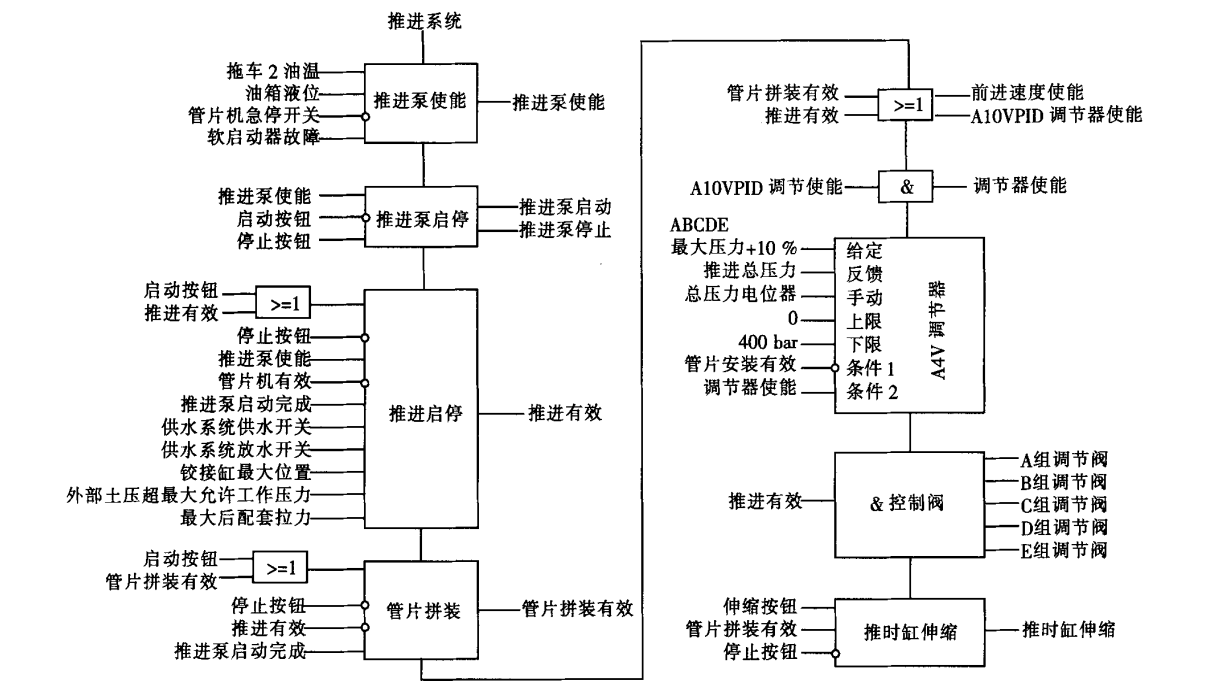


图2 程序控制流程图

(1) 以一定掘进速度推进,通过调节螺旋输送机的排土量达到土仓的土压平衡。螺旋输送机速度加快,则土仓内的土压将下降,反之则上升。

(2) 螺旋输送机转速保持一定值,调节推进速度实现土压平衡。推进速度加快,则土仓内的土压上升,反之则下降。

5.2 姿态控制的实现

姿态控制是通过导向系统给操作人员指示隧道实际轨迹与设计轨迹的偏差,由操作人员根据经验调节推进系统5个工作区不同的给定压力,从而使盾构转向。

5.3 推进速度与推进压力的协调

盾构控制的另一个重要问题就是推进缸的压力和速度的协调控制问题。本设计中采用的策略是:

(1) 手动状态

5个区分别处于压力闭环控制,也就是说,5个区的推进缸的推进压力分别由面板上的5个给定电位器决定,比例流量阀处于比较大的开口,推进缸主要由比例溢流阀来控制。这种工况一般出现在姿态调整时。

(2) 自动状态

5个工作区中的3个(如:A、C、E)处于流量控制状态,比例流量阀的给定由面板上的速度给定电位器决定。而另外两个区(如:B、D)处于压力闭环控制状态,压力给定来自于各自的压力给定电位器。这种工况一般出现在正常直线掘进时。

这两种控制方式中,总的压力阀的给定取决于5万方数据

个压力区中的最大值(最大值加10%)。

6 计算机控制及数据采集分析系统

计算机控制系统主要用于参数设置和数据采集分析,它由盾构控制室的墙面式工控机和洞外办公室的PC机组成,采用主从工作方式,通过TCP/IP协议联网。

墙面式工控机为西门子PC670人机界面,采用彩色液晶触摸屏,安装在盾构控制室的控制面板上,由现场操作人员使用,用于人机对话、显示数据、设置和修改系统控制参数等。

上位机控制软件采用WINCC组态软件,设置8个组态界面,分别通过功能键切换。

- F₁——泡沫系统监视界面;
- F₂——土压力、螺旋输送机、仿形刀监视控制界面;
- F₃——油温度、盾尾密封、铰接油缸、推进油缸监视界面;
- F₄——泡沫系统参数设置界面;
- F₅——油箱报警温度、注浆压力参数设置界面;
- F₆——掘进参数设置界面;
- F₇——盾尾密封控制参数设置界面;
- F₈——故障、报警监视界面;

洞外的PC机根据需要可安装在机电室和经理室,这些计算机均安装有WINCC(Windows NT)软件,

(下转第78页)

交通运输业是我国能耗大户,但其能源利用效率长期以来比较低下,远低于世界发达国家水平。但就铁路本身来说,电力牵引的能源利用效率仍远远高于内燃牵引方式。同时电力牵引可以把对油的直接消费转变为对煤和水能资源的间接消费,适应了我国以煤为主的能源政策,并在改善我国终端能源消费结构,提高一次能源中煤炭转化成电力的比重方面具有积极的意义。而且目前铁路运量中相当一部分是煤炭,采用内燃牵引、以消耗高级的石油资源为代价来运送煤炭,绝非我国经济发展的长久之计。为实现可持续发展,铁路部门最大限度地执行国家能源政策,高效合理地利用有限的能源资源,积极发展电力牵引,在提高运能的同时提高电力牵引承担换算周转量的比重,无疑是对提高我国能源利用效率的一大贡献。

表 1 交通运输部门能源利用效率

运输种类	铁 路	利用效率(%)
铁路	内燃机车	30.0
	电力机车	60.0
公路	汽油车	20.0
	柴油车	30.0

环境保护是实现可持续发展的重要前提。内燃机车直接消耗燃油,造成大量有害物质排放到大气中,且这些污染分布于沿线,低空排放,对近地面环境空气质量影响较大,我国目前尚无有效治理措施。而采用电力牵引,机车本身对大气无污染物排放,燃煤电厂虽对大气有一定污染,但烟尘、SO₂ 及 NO_x 排放量均较内燃机车小,且电厂排放的大气污染物较为集中,便于通过原料控制、采取脱硫除尘等措施,将污染消灭在生产过程中,有效减少污染物的排放量;同时,电厂烟囱高度一般在 180 m 以上,高空风速大,有利于污染物的扩散稀释,减少近地面污染;而电力机车的电磁影响经相应处置后也不会对沿线环境产生太大影响。经计算,本线采用电力牵引方案相应燃煤电厂向大气排放的污物

(上接第 43 页)

用于对隧道内的盾构运行情况进行远程监视、故障诊断、数据采集和分析、打印报表及其他管理工作。

7 结束语

目前盾构可编程控制器(PLC)设计工作已基本完成,通过对盾构可编程控制器(PLC)系统的设计研究,为国产盾构的整机开发打下了基础。该项目已列为国家“863”攻关计划,得到国家“863”研究基金的资助,有望在年底进行工业化试验,待试验后再进一步完善。

总量仅为内燃牵引方案年向大气排放污物总量的 20 % ~ 25 % ; 而如采用清洁的水电、核电,则基本不必考虑污染问题,电力牵引的环境效果更佳。可以说,通过电气化改造变革铁路牵引方式,从对煤炭和石油的直接消耗转化为对电力的消耗,有利环保,也是促进国民经济和铁路事业可持续发展的必然选择。

7 结束语

综上所述可见,京九铁路现有运输能力和服务质量均不能适应研究年度客货运输发展的要求,必须对其进行电气化改造,这是提高运输能力,构筑和强化我国中东部大能力南北向铁路运输通道体系的战略需要;是助推东部地区电化网,充分发挥路网效应,实现铁路跨越式发展的客观要求;是提高列车运行速度,延伸铁路客运专线网络触角,加强铁路竞争能力的有效途径;是降低铁路运营成本、提高铁路经营效益的重要手段;是贯彻我国能源政策,实施可持续发展战略的必然选择;是促进沿线经济和旅游业发展,加强区域经济协作,贯彻国家中部崛起战略的有力举措。研究表明,京九铁路的电气化改造是十分有必要的,是无法替代的,应予尽快实施。

参考文献:

[1] 中华人民共和国铁道部. 列车牵引计算规程[Z]. 北京: 中华人民共和国铁道部,1998.

[2] 铁道部统计中心. 全国铁路统计资料汇编[G]. 北京: 中华人民共和国铁道部,2001.

[3] 王北成,黄民. 中长期铁路网规划研究[M]. 北京: 中国铁道出版社,2004.

[4] 中华人民共和国铁道部. 铁路主要技术政策[Z]. 北京: 中华人民共和国铁道部,2004.

(编辑 王英娜)

参考文献:

[1] 廖常初. S7300/400 PLC 应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社,2005.

[2] 郭宗任. 可编程序控制器及其通讯网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社,1999.

[3] 西门子有限公司自动化与驱动集团. 深入浅出西门子 WinCC V6[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社,2004.

(编辑 马 丽)

作者：[唐健](#), [TANG Jian](#)
作者单位：[中铁隧道集团有限公司, 河南, 洛阳, 471009](#)
刊名：[铁道工程学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)
英文刊名：[JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期)：2006 (3)
被引用次数：3次

参考文献(3条)

1. [廖常初](#) [S7300/400 PLC应用技术](#) 2005
2. [郭宗任](#) [可编程序控制器及其通讯网络技术](#) 1999
3. [西门子有限公司自动化与驱动集团](#) [深入浅出西门子WinCC V6](#) 2004

本文读者也读过(10条)

1. [孙继亮](#), [彭天好](#), [胡国良](#), [龚国芳](#) [盾构掘进姿态的PLC控制](#)[期刊论文]-[工程机械](#)2005, 36 (7)
2. [沈斌](#), [SHEN Bin](#) “[盾构一号软件](#)”的开发研究[期刊论文]-[施工技术](#)2005, 34 (6)
3. [赵金汉](#) [盾构法隧道施工中的线形管理](#)[期刊论文]-[安徽建筑](#)2005, 12 (1)
4. [靳世鹤](#), [Jin Shihe](#) [广州地铁硬岩段土压平衡盾构掘进施工的对策](#)[期刊论文]-[都市快轨交通](#)2007, 20 (3)
5. [何振华](#), [申纪鹏](#), [韩月旺](#), [HE Zhen-hua](#), [SHEN Ji-peng](#), [HAN Yue-wang](#) [急曲线盾构施工控制技术要点](#)[期刊论文]-[山西建筑](#)2010, 36 (28)
6. [吕宏权](#), [Lu Hongquan](#) [盾构法施工过程中隧道轴线的控制分析](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#)2007, 33 (1)
7. [郑晓燕](#), [严淦](#), [Zheng Xiaoyan](#), [Yan Gan](#) [盾构在湖底砂层中掘进姿态控制及易出现问题应对措施](#)[期刊论文]-[价值工程](#)2010, 29 (1)
8. [田金虎](#) [盾构过河隧道超浅覆土层区域施工技术](#)[期刊论文]-[中国高新技术企业](#)2010 (8)
9. [刘迪](#), [李锻](#), [Liu Di](#), [Li Duan](#) [一种新型可编程控制器研制](#)[期刊论文]-[电子测量技术](#)2009, 32 (6)
10. [侯志奎](#), [张智博](#), [Hou Zhikui](#), [Zhang Zhibo](#) [盾构隧道施工位移控制技术](#)[期刊论文]-[安徽建筑](#)2006, 13 (2)

引证文献(3条)

1. [马立明](#), [李中山](#) [土压平衡式盾构PLC电气控制系统分析](#)[期刊论文]-[筑路机械与施工机械化](#) 2009 (9)
2. [蒲晓波](#) [西门子PLC在盾构控制系统检测试验台的应用](#)[期刊论文]-[隧道建设](#) 2009 (1)
3. [侯昆洲](#), [徐莉萍](#), [任德志](#) [基于单神经元自适应PID控制的双护盾掘进机液压推进系统研究](#)[期刊论文]-[流体传动与控制](#) 2010 (1)

引用本文格式：[唐健](#), [TANG Jian](#) [盾构可编程控制器\(PLC\)系统设计研究](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006 (3)