

履带露天液压顶锤式凿岩钻车的研制

张城宾 李叶林

(湖南文理学院机械工程学院 湖南常德 415000)

摘要:综合国内液压控制技术和电子计算机技术,针对国内履带式露天液压钻车市场被国外垄断的现状,针对矿山、隧道、高原等恶劣工况,研制出一种结构可靠、适应性强、适于使用的全液压式凿岩钻车。设计了凿岩钻车的底盘及行走机构、平台及驾驶室、机械手自动换杆机构,开发了工作覆盖范围较大的钻臂及推进器结构,配备了全液压凿岩机。设计了钻车的动力系统、液压系统、电气系统和气控系统,其之间良好的选型匹配为钻车性能提供保障。根据现场试验结果显示,这款全液压凿岩钻车的钻孔速度较快,能够有效提高凿岩作业的效率。此外,钻车驾驶室的工作环境也得到了改善,降低了操作工人的劳动强度,进一步提高了工作效率。

关键词: 凿岩钻车; 顶锤式; 换杆机构; 防卡杆装置

1 前言

顶锤式凿岩钻车主要适用于钻孔直径为 20~127mm 的炮孔,其钻孔深度一般不超过 30m,依据动力系统的类型,可以被归类为四种:风力、内燃、液压和电力^[1]。相比液压凿岩钻车,风动凿岩钻车在特殊环境中的应用会产生很多问题,例如高原低气压环境,风动凿岩机很难发挥正常效率。而电力凿岩钻车一般应用煤矿下或较软质的岩石层中使用^[2]。综合考虑,液压凿岩钻车对环境适应能力较强,适用于各种地质结构^[3]。在金属矿山、隧道掘进、公路建设等钻爆法施工的工程中应用前景更加广泛^[4]。现研制一种工作范围广,适应多种极限工况,降低工人劳动强度,提高钻孔效率的凿岩钻车。

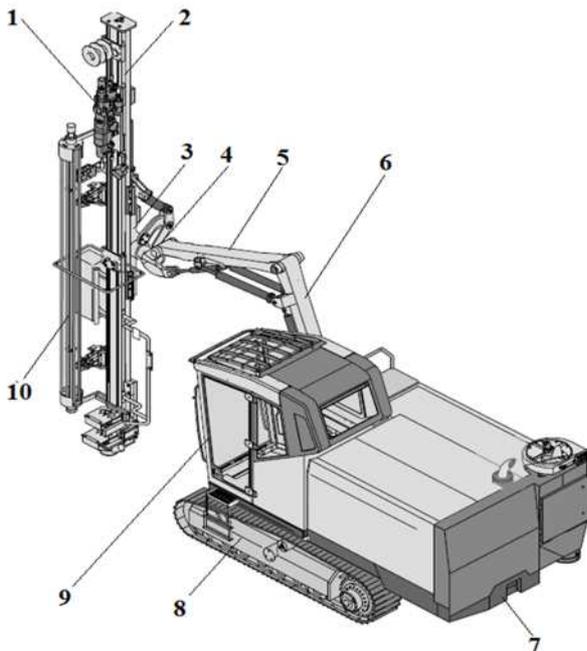


图1 履带露天液压顶锤式凿岩钻车总体结构图

Fig.1 The structure of hydraulic top hammer surface crawler drill rig

- 1- 液压凿岩机; 2- 推进器; 3- 托架; 4- 拐臂; 5- 副臂;
- 6- 主臂; 7- 平台; 8- 底盘; 9- 驾驶室; 10- 换杆机构

2 整机结构及原理

2.1 主体结构

如图 1 所示,履带露天顶锤式液压凿岩钻车是一个包含多个机械结构和控制系统的设备,该钻车由凿岩机、推进器、换杆机构、

钻臂、平台、底盘以及驾驶室等多个机械部件组成。

履带露天顶锤式液压凿岩钻车的控制系统由动力、液压、电控和气控四个部分组成,是钻车的重要组成部分。该设备的控制系统主要采用液压为主、辅以电控的先导式液压控制。

凿岩钻车配备易操作的手柄,具有精准和简单的设计,可轻松完成钻车的定位和凿岩动作。手柄操作简单而精确,能轻松完成钻车的定位和凿岩动作,包括冲击、回转、快速回转和快速推进等复杂动作。这种操作方式方便实用,能够提高工作效率。这种操作方式提高了钻车的操控性能,使司机易于上手,提高工作效率。

2.2 底盘及行走系统

底盘是凿岩钻车的重要组成部分,它由多个关键部件组成,包括履带总成、驱动轮、支重轮总成、张紧总成、缓冲弹簧、托链轮、引导轮、履带架、底架和行走马达等。

行走系统采用双速液压马达进行驱动,拥有高功率,能够提供高达 95kN 的最大牵引力。底盘高度适宜、通过性好,底盘最小离地间隙为 450 mm,使在复杂工作环境中的适应能力要远高于其他类似凿岩钻车。同时底盘配液压支腿,确保了工作时姿态的稳定性和准确性,提高了工作效率,如图 2 所示。



图2 底盘液压支腿结构

Fig.2 The structure of hydraulic powered leg in underpan
制动系统采用了弹簧液压自动制动控制,同时还配备了自动控制系统,可有效保障操作人员和设备的安全。

履带架的摆动角为上下 $\pm 12^\circ$ ，增强了钻车在野外工作的适应性。如图 3 所示。

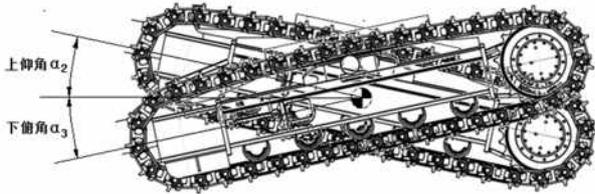


图 3 履带架摆动角度

Fig.3 The Swing angle of the crawler shelf

2.3 平台及驾驶室

平台采用高强度钢板焊接的箱形框架结构，能够提供良好的抗弯和抗扭性能。平台内设有多个重要部件，包括动力装置、冷却系统、回转装置、钻臂座、驾驶室和其他辅助设备。

驾驶室是液压凿岩钻车中不可或缺的组成部分之一，内部配备了多种设备，包括操作台、座椅、显示器、压力表、空调等。驾驶室的设计考虑了操作者的使用习惯和舒适性，两个操作手柄位于司机座椅两侧，方便操作者的操作。驾驶室前部采用一整块大型挡风玻璃，操作员可以获得广阔的视野。而且，驾驶室的密封性非常好，可以有效地防止外部灰尘进入，降低凿岩工作时的噪音。

驾驶室内设有多种显示设备，包括显示器和压力表显示屏。显示器能够实时监测发动机和空压机的运行参数，包括转速、温度和油压等。压力表显示屏用于显示钻车在凿岩钻孔时的关键参数，这些设备可以提高操作者的监测和控制能力，确保钻车的高效和安全性。



图 4 驾驶室内部结构

Fig.4 The inner structure of cab

2.4 钻臂

该液压凿岩钻车的钻臂采用了折叠设计和先导比例驱动控制技术，具有平稳运行和振动小的特点。主臂和副臂可以折叠，使得钻

车可以一次定位到更大的钻孔范围内。

主臂水平摆角为右 25° / 左 32° ，如图 5 所示。托架结构有一个特殊的连杆旋转机构，使油缸很短的行程，推进梁达到很大的转动范围。推进梁延伸补偿的长度为 1300mm，钻臂最大垂直工作面积达 14m^2 ，如图 6 所示。

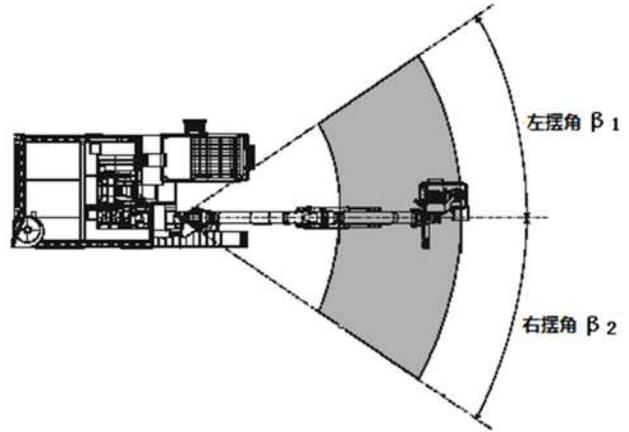


图 5 水平钻孔范围

Fig.5 The range of horizontal drill

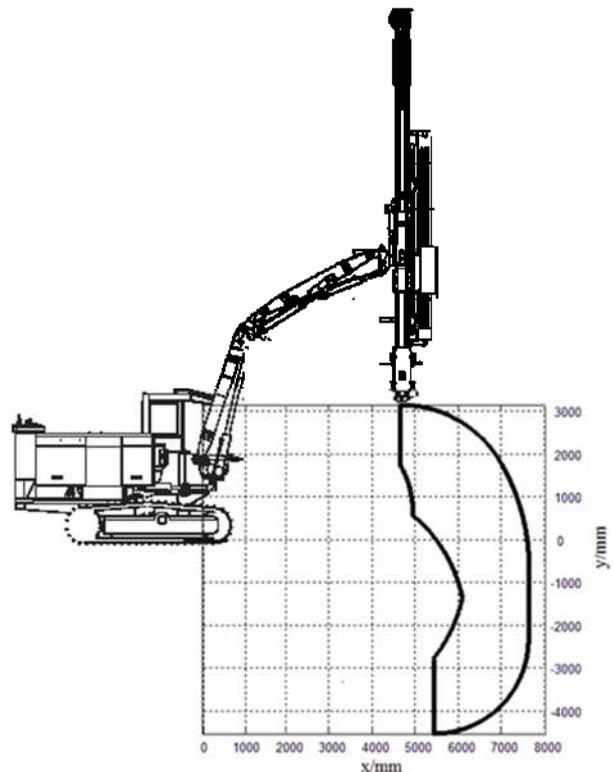


图 6 垂直钻孔范围

Fig.6 The range of vertical drill

2.5 推进器结构

推进器由推进梁、凿岩机滑板、马达、减速器、链轮和卡钳器等部件组成，采用丹弗斯低泄漏 OMR 马达作为动力源，能够以平稳且快速的方式推进凿岩钻杆，最快速度可达 $3\text{m}/\text{min}$ 以上，从而显著提高钻杆的提升速度。



图 7 推进器机构

Fig.7 The mechanism of feed structure

推进梁采用双边折弯铝合金结构,具有轻量化和高强度的特点,能够提供稳定可靠的支撑作用。推进梁与固定凿岩机的滑板之间采用V型滑块连接,有效减少主要部件的磨损,且更换V型滑块方便、降低成本。

凿岩机滑板和推进梁底部采用凹形等腰梯形结构设计,旨在确保凿岩机、卡钎器等部件能够自动对中。同时,钻杆导向装置采用了双扶钎器组成,可以控制钻孔作业时钻杆的自由度,从而提高钻孔的准确度和稳定性。

推进梁安装有油管滚盘和张紧支撑装置,使油管排布规律、整齐,在检修或保养时便于操作,同时减少油管的磨损,起到保护的作用。钻杆导向装置能减少打孔偏差,保证打孔直线度。

2.6 换钎机构

换钎机构包括多个部件,包括转盘、液压阀、机械手和爪瓦等。液压阀控制机械手、转盘动作,转盘储备六根长度为3.66m的钻杆,机械手用于抓取钻杆并自动对准换钎装置。换钎系统用独立的液压马达,可进行无极调速,并且可双向旋转,结构如图8所示。

2.7 全液压凿岩机

COP1838型液压凿岩机采用液压驱动方式,并具备独立回转功能,使其能够高效地进行凿岩作业。装备了双缓冲系统及缓冲蓄能

器,吸收由于钻杆回弹产生的高频振动,虽然耗损部分能量,但对于消减钻臂、车架、凿岩机、推进器等部件上的振动起到了至关重要的作用,易损部件的寿命有效延长。冲洗压缩空气通过机头供给。

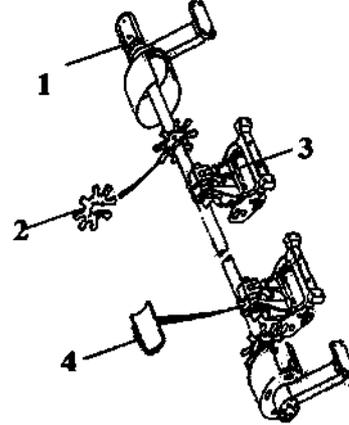


图 8 转钎机构

Fig.8 The mechanism of rotation structure

1-转钎马达; 2-转盘; 3-机械手; 4-爪瓦

COP1838配备了型号为T38、T45、T51的钻杆,可用于深孔钻进。此外,还提供了多种直径的钻头可供选择,包括Φ76mm、Φ89mm、Φ102mm和Φ115mm,以适应不同的工况需求。

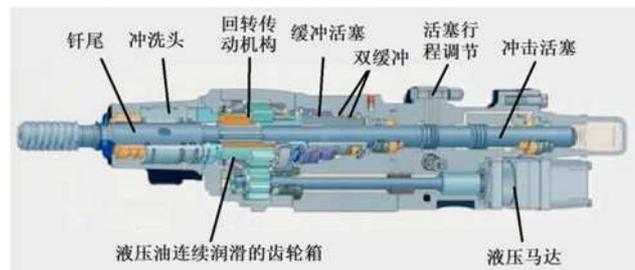


图 9 液压凿岩机 COP1838

Fig.9 The COP1838 rock drill

COP1838型液压凿岩机的冲击机构采用高压液压油驱动活塞在缸体内作往复运动,以实现凿岩效果。当冲击活塞以最大速度运动时,它会与钎尾相撞,产生巨大的冲击力,从而实现凿岩的效果。通过缸体中信号孔,由换向阀控制切换进油回油方向。可调节螺栓设计的信号孔能够调整凿岩机的冲击频率,以适应不同硬度的岩石,提高凿岩效率。在凿岩过程中,冲击活塞和换向阀保持着紧密的联动状态。

回转部分采用了液压马达驱动的结构,它通过油压作用产生扭矩,并将这个扭矩传递给传动轴、齿轮系统和传动套,最终实现钻杆的旋转。

表 1 COP1838型液压凿岩机性能参数表

Table 1 The performance of parameter of COP1838 rock drill

冲击能	300J	回转输入流量	75L/min
冲击频率	40~60Hz	回转输出扭矩	1000N.m
冲击压力	23MPa	回转输出转速	0~132rpm
冲击进油流量	60~90L/min	选用钻杆	T38, T45, T51

2.8 动力系统

动力总成包括柴油发动机、液压泵、空压机以及其他附属设备。

(1) 发动机采用 CAT 涡轮增压水冷柴油发动机, 其主要技术参数如表 2 所示。

表 2 发动机技术参数

Table 2 The Technical parameter of motor

缸径×冲程	110mm×127mm	柴油机排量	7.2L
额定功率/转速	168KW/2200rpm	标定功率燃油消耗率	≤233g/kW.h
最大扭矩	1013N.m/1300rpm, 1001N.m/1500rpm, 891N.m/1800rpm.729N, m/2200rpm		

所采用的发动机符合欧 III 排放标准, 并具备低温冷启动和自动海拔高度补偿功能, 以确保在不同的环境条件下能够正常运行。此外, 发动机的转速还支持编程控制, 可以根据需要进行调节, 以适应各种特殊环境的需要。

(2) 空压机采用螺杆式空压机, 工作压力为 1MPa, 排气量为 8.2m³/min。

(3) 液压泵根据系统配置选用一台 74cc 柱塞泵、一台 45cc 柱塞泵、一台 20cc 齿轮泵和一台 16cc 齿轮泵。

根据计算, 发动机功率、液压泵压力及流量、空压机压力及流量满足钻车动力要求。

2.9 液压系统

液压系统由液压泵、凿岩主阀、比例阀和先导阀等组成。四个独立的液压泵分别供油。这种设计结构简单, 易于维护和故障诊断, 而且不同液压泵之间的故障不会相互影响。

(1) 双联柱塞泵

1 号泵是液压系统中的主要泵, 具有最大的排量。它负责为凿岩机提供动力油, 用于实现冲击、推进、钻车行走, 以及控制自动换杆装置和先导控制油路等关键功能。

2 号泵为液压系统中的柱塞泵, 主要用于为凿岩机的回转机构提供动力油, 并能够支持履带调平、钻臂定位等操作的油路。

(2) 双联齿轮泵

3 号泵供集尘器用油;

4 号泵供散热器用油。

表 3 液压泵技术参数表

Table 3 The Technical parameter of hydraulic pump

泵号	压力 MPa	排量 ml/r	转数 rpm
1 号泵	31.5	74	2800
2 号泵	31.5	45	2800
3 号泵	25	16	2500
4 号泵	25	20	2500

表 4 钻车试验运行参数

Table 4 The operating parameter of drill rig

钻孔深度	杆序号	开始时间	结束时间	实际时间	推进压力(MPa)	回转压力(MPa)	冲击压力(MPa)	缓冲压力(MPa)	液压油温度℃
4.25	1	10: 15	10: 18	3' 40"	8	7.2	22	5.6	63
3.62	2	10: 33	10: 37	3' 05"	8.1	6.9	23	6.3	65
3.61	3	11: 01	11: 05	3' 17"	7.9	7.1	22	5.7	65
3.65	4	11: 24	11: 27	3' 16"	8	7.0	22.5	5.7	67
3.63	5	12: 02	12: 06	3' 37"	8.1	7.2	22	5.6	66
3.61	6	12: 26	12: 30	3' 55"	8.3	7.2	22	5.7	67
3.61	7	12: 55	12: 59	4' 16"	8.2	7.4	22	5.7	67

2.10 电控系统

电控系统由多个元件组成, 包括蓄电池、可编程控制器、传感器、显示器、按钮开关和接线端子等。这些元件协同工作, 实现对液压凿岩钻车的控制和监测功能。

铅酸蓄电池被用作电控系统的电源, 其高容量保证了电气系统的正常运行, 而高电流输出则有助于钻车的平稳启动。

所采用的可编程控制器具备高防护等级 IP69, 专为工程机械设计而开发。控制器与多种传感器(例如压力、位置、角度、温度和油位传感器等)配合使用, 以确保在恶劣的工作环境下正常工作, 实现精准的控制和监测, 可以获得各种数据和信号, 并将它们发送至控制器进行处理。控制器负责控制液压电磁阀等部件, 以实现钻车的各种动作, 并将状态参数发送到显示器上。

2.11 气控系统

使用螺杆式空气压缩机作为气控系统的动力源, 控制气流通过多个辅助设备, 如散热器、油雾器、粗滤器、集尘器、油气筒、汽水分离器和扑尘罩等。

气控系统主要是对炮孔进行排渣处理, 将凿岩机破碎的岩石碎渣排出炮孔, 减小卡钎的几率。同时也对凿岩机内部零件和结构端面提供润滑气体, 保证凿岩机的最佳工作性能, 减少凿岩机的故障率。

压缩机产生高压气体, 通过控制阀调节并送入辅助设备, 包括油雾器、汽水分离器、集尘器、粗滤器和扑尘罩等。以实现润滑、废气排放、清除粉尘等功能。

3 现场试验

试验样机在工地现场进行凿岩试验, 钻孔直径为 Φ89mm, 环境温度约为 10℃, 相对湿度为 80% 以下。

对凿岩钻车进行现场施工性能测试如图 10 所示。驾驶室内噪音测试结果为 80dB。试验测试钻孔直径、钻孔深度、开始结束时间、推进压力、回转压力、冲击压力、缓冲压力等各个参数, 测试结果见表 4。



图 10 现场施工作业

Fig.10 The working of site construction

由表 4 的数据可以看出, 该钻车工作时压力稳定在 22MPa, 钻直径为 $\Phi 89\text{mm}$ 的孔时, 最快钻孔速度可达 1.1m/s, 液压油温度保持 65℃左右, 满足机械行业标准要求。换钎速度稍有缓慢, 可以再进行细微调整和部分功能改进。

通过研制数据以及实验结果, 对比新型钻车与其他两款钻车的性能参数, 如表 5 所示。

表 5 钻车性能参数对比

Table 5 The comparison of performance parameter of drill rig

钻车名称	钻孔直径 mm	凿岩机功率	回转速度	钻臂升角	钻臂摆角	行走速度 km/h	爬坡能力	推进补偿 mm	自动换钎	防卡钎系统
新型钻车	76~115	18kW	0~132	-5°~90°	左 32°~右 25°	3	30°	1300	有	有
KY120	105~120	12kW	0~65	35°~60°	无	2	30°	900	无	无
H6	76~89	15kW	0~135	30°~80°	无	3	30°	1200	无	有

参考文献

Reference

[1]郭陕云. 隧道掘进钻爆法施工技术的进步和发展[J].铁道工程学报, 2007, (9):67-74

Guo S Y. Processes and Developments of Tunnel Construction Technology with Bored Blast Method [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, (9): 67-74

[2]高澜庆. 国外凿岩(穿孔)设备的发展动态[J]. 矿山机械, 2000, (3): 9-10

Gao L Q. Development of Abroad Drilling (Boring) Equipments [J]. Mining & Processing Equipment, 2003, (3): 9-10

[3]姚克. 履带式隧道四臂凿岩台车的研制[J]. 现代隧道技术, 2012, 49(3):198-201

Yao K. Development of a Crawler-Type Four-Boom Jumbo Drill [J]. Modern Tunnelling Technology, 2012, 49(3): 198-201

[4]雷升祥, 崔永杰, 陈鹏. 对液压凿岩台车在隧道施工中推广应用问题的分析[J]. 现代隧道技术, 2002, 39(1):10-13

Lei S X, Cui Y J, Chen P. Analysis of the problems existed in application of hydraulic jumbo to tunnel construction [J]. Modern Tunnelling Technology, 2002, 39(1):10-13

[5]郭勇, 何清华, 朱建新. 隧道凿岩机器人的研制[J]. 现代隧道技术, 2002, 39(4):10-13

通过几组性能参数的对比, 新型钻车的凿岩机功率达到 18kW, 钻臂升角与摆角范围更广, 推进机构的补偿能力更强, 工作面覆盖范围更大。安装了自动换钎装置, 能够迅速完成钻杆的更换, 从而提高工作效率。同时还配备了自动防卡钎系统, 能够有效防止钻杆在凿岩作业时卡钎, 提高工作的稳定性和可靠性。

4 结论

(1)履带露天液压顶锤式凿岩钻车的研制, 对矿石开采、公路、隧道等施工自动化是一个重要课题, 解决了特殊环境中风动、电力凿岩钻车的不足。

通过现场试验最快钻孔速度达到 1.1m/s, 工作压力稳定。液压油维持在大约 65℃左右的工作温度, 保证了液压系统的良好性能。

(2)底盘通过性高, 离地间隙达到 450mm, 配有液压支腿结构, 保障斜坡上工作时整车的稳定性。

(3)新型钻臂结构的设计, 扩大了钻车在一次定位时的工作范围, 钻臂最大垂直工作面积可达 14m²。

(4)其推进器系统中配有自动防卡钎功能, 换钎装置最多可以储备 6+1 根钻杆, 钻孔深度可达 25m。

(5)其驾驶室是密闭空间, 装有空调。驾驶室内噪声测试结果显示为 80dB, 符合凿岩机械行业标准。此外, 采用双手柄电控集成系统进行操作, 使用方便, 能够减轻工作强度并提高工作效率。

Guo Y, He Q H, Zhu J X. Computerized rock drill robot in tunneling [J]. Modern Tunnelling Technology, 2002, 39(4):10-13

[6]姚克, 凡东, 殷新胜, 孙保山, 姚亚峰, 张幼振. ZDY4000L 型履带式全液压坑道钻车的研制[J]. 煤矿机电, 2009, (3): 56-58

Yao K, Fan D, Yin X S, Sun B S, Yao Y F, Zhang Y Z. Development of ZDY4000L Track-mounted Hydraulic Tunnel Drilling Rid [J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2009, (3): 56-58

[7]石智军, 胡少韵, 姚宁平. 煤矿井下瓦斯抽采(放)钻孔施工新技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2008

Shi Z J, Hu S Y, Yao N P. New Drilling Technology for Gas Drainage in Underground Coal Mines [M]. Beijing: China Coal Industry Publishing, House, 2008

[8]吴连雄, 张兴来. 萝峰隧道三臂凿岩台车与手持式凿岩机钻爆法掘进施工技术比较[J]. 公路交通技术, 2003, (5): 90-94

Wu L X, Zhang X L. Technology Comparison between Tri-arm Rock Drilling Jumbo and Hand Rock Breaker Used in Drilling and Blasting Construction of Luofeng Tunnel [J]. Technology of Highway & Transport, 2003, (5): 90-94

作者简介: 张城宾 (1982.07-), 男, 回族, 湖南省常德市人, 大专, 职称: 专技 13 级。研究方向: 机械工程。