

MG-20S 型隧道锚杆钻机的研制与应用

罗诗伟¹, 王平安², 白宁博¹, 赵 繁¹, 吴 超¹, 金 蕾¹

(1. 陕西核昌机电装备有限公司, 陕西 咸阳 712000; 2. 中铁二十局集团有限公司, 陕西 西安 710016)

摘要: 根据目前公路、铁路隧道的两台阶钻爆掘进施工工法, 为满足掌子面的炮眼孔, 洞壁的系统锚杆、锁脚锚杆孔的施工需求, 开发了 MG-20S 型隧道锚杆钻机。该机为三段臂组成曲臂式变幅机构, 具备全方位钻进姿态调整功能, 钻进施工可实现自动/手动控制双模式, 自由切换, 在自动控制模式下, 仅需一个按钮便可控制凿岩机回转、冲击和给进, 并可根据工况情况及时调整钻进参数; 采用无线遥控操作和驾驶室手动操作一键切换, 只需 1 人操作即可成孔; 可实现一键展车、一键收车功能, 及时完成锚、钻、注工序和装药、爆破、运渣等工序的高效切换, 使各种工序专业化、规范化。工业试验表明, 该钻机性能可靠、有效, 各项参数、功能可以满足隧道两台阶锚、钻施工工艺。

关键词: 隧道锚杆钻机; 控制系统; 两台阶锚杆; 遥控凿岩; 钻爆法

中图分类号: U455.3; P634.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2023)S1-0431-06

Development and application of MG-20S tunnel anchoring drill

LUO Shiwei¹, WANG Ping'an², BAI Ningbo¹, ZHAO Fan¹, WU Chao¹, JIN Lei¹

(1. Shaanxi Hechang Mechanical and Electrical Equipment Co., Ltd., Xiayang Shaanxi 712000, China;

2. China Railway 20th Bureau Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710016, China)

Abstract: According to the current two-bench drilling and blasting construction methods of highway and railway tunnels, In order to meet the construction requirements of the cannon hole in the palm and system anchor rods and locking anchor rod holes of the hole wall, the MG-20S tunnel anchoring drill has been developed. The machine is three arms of curved arm amplitude mechanism, with all-round drilling attitude adjustment function, drilling construction can realize automatic / manual control dual mode, free switch, in the automatic control mode, only a button can control the rock drill rotation, impact and feed, and the drilling parameters can be adjusted in time according to the working conditions; using wireless remote control operation and manual operation of the cab with one key switch, only one person can operate to form a hole; it can realize the function of one-key to display car and one-key to collect the car, timely completion of anchor, drilling, injection process and loading, blasting, slag transport and other processes of efficient switching, make various processes professional, standardized. The industrial test shows that the drilling rig is reliable and effective, and all parameters, functions can meet the requirements of the construction technology of anchor and drill in two-bench of the tunnel.

Key words: tunnel anchoring drill; control system; two-bench anchor stock; remote drilling; drilling and blasting method

0 引言

目前国内公路、铁路隧道较多, 地层多为软弱围岩、破碎断层, 地质结构复杂, 特别是已动工的川藏铁路隧桥比高达 95%^[1]。隧道钻爆施工主要包括

钻掌子面的炮眼和对已开挖好的洞壁进行锚固支护二方面, 需要专业化非标装备满足施工工况和工艺的要求, 以提高隧道施工的速度并节省施工成本, 以速度求效益^[2]。钻炮眼施工时, 目前大部分施

收稿日期: 2023-03-23; 修回日期: 2023-07-06 DOI: 10.12143/j.ztgc.2023.S1.069

第一作者: 罗诗伟, 男, 汉族, 1978 年生, 副总工程师兼技术部长, 正高级工程师, 注册建造师, 机械设计制造及其自动化专业, 从事地质钻探机械的研发、设计制造以及对外技术合作工作, 陕西省咸阳市玉泉西路秦都科技产业园, anuov@163.com。

引用格式: 罗诗伟, 王平安, 白宁博, 等. MG-20S 型隧道锚杆钻机的研制与应用[J]. 钻探工程, 2023, 50(S1): 431-436.

LUO Shiwei, WANG Ping'an, BAI Ningbo, et al. Development and application of MG-20S tunnel anchoring drill[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1): 431-436.

工单位依然采用单人手持式操作支腿式全液压凿岩机钻孔,一般一个掌子面有120~140个炮眼,根据洞内空间安排8~10台手持式设备并排进行施工,需要钻高位置的孔位时必须搭建高空作业平台,在平台上进行钻孔,钻孔完成后,人工安装炸药,拆除作业平台后实施爆破,爆破完毕,挖掘机开始铲挖碎石,用汽车运出洞外;进行洞壁的锚固支护时,与钻炮眼施工工艺基本一致,成孔后由人工安装锚杆、连接锚杆并完成注浆封堵。整体来说支腿式全液压凿岩机在隧道钻爆施工中速度慢,效率低,机械化程度不高,特别是多台设备工作时噪声较大,产生的粉尘多,同时需要多名操作人员,若隧道坍塌、岩石掉块时,人员和设备撤离速度较慢,安全性较差。

在机械化施工方面,国内外企业一般都是把隧道掌子面的凿孔与洞壁锚固支护做成两种设备,即隧道凿岩台车和锚杆台车,例如铁建重工、四川钻神、阿特拉斯等大型工程机械厂家^[3]。凿岩台车基本上都是采用底盘前端安装悬臂式的长直臂或伸缩直臂结构形式,在长直臂前端装回转油缸或回转支撑实现平面的360°角度调整,回转油缸或回转支撑上再安装推进梁,推进梁上装液压凿岩机或回转动力头实现凿岩或钻杆回转;有的还加装补偿推进梁来实现钻孔作业,整机行走有轮式底盘或履带底盘;有的设备装有双臂、三臂等多条直臂,可实现同时多孔施工,甚至有的可多角度对位、自动化钻孔。

这些设备只能完成钻掌子面的炮眼或洞壁的系统锚杆、锁脚锚杆等单一的功能,而且都是针对全断面(含仰拱)、大断面、微台阶法等开挖方式而设计的,不能同时满足隧道二台阶开挖和洞壁锚杆支护。而且价格较高,且体积庞大,基本上设备长度都达到16 m以上,无法在隧道内掉头,难以满足狭窄场地施工^[4],当需要爆破、运渣时退出洞口,钻孔时再进入,随着隧道掘进施工的推进,设备进洞出洞时间较长,导致各工序衔接不紧密,影响施工进度和施工质量。

为此,进行了MG-20S型隧道锚杆钻机的研制,可完成隧道钻爆的二台阶掘进施工工艺,既可钻掌子面的炮眼孔,也可完成系统锚杆、锁脚锚杆孔的施工^[5],与GT-12型高空作业车配合完成炮眼炸药的装填、锚杆孔的注浆、锚杆的安装等工序施工。该钻机采用三段臂组成曲臂式变幅机构,可一键展车、一键收车,收车后长度只有7 m左右,可原地调头,

且具有自动对位功能。需要爆破或运渣时,迅速收车退至安全距离,靠向隧道壁停放,不用退出洞口,且留出挖掘机或运渣汽车通道;需要钻孔时,移至掌子面或洞壁,一键展车即可施工,与其它工序高效切换,同时设备可达到电液自动化控制,仅需1人远距离无线遥控即可完成设备驾驶和主要操作,从而提高施工速度,降低安全隐患,减少施工成本,促使各工序专业化、规范化^[6-7]。

1 总体结构形式

MG-20S型隧道锚杆钻机(图1)采用四轮一带式履带底盘,由回转支承、机架、动力系统、驾驶室(包括空调)、变幅机构、钻架给进机构、凿岩机、电缆盘、液压系统、电器系统等部分组成,通过液压凿岩机在隧道端面进行钻孔作业,采用柴、电双动力施工,且动力模式一键切换,设备最大作业高度9 m,其中工作模式/钻进模式/行走模式3种模式互锁,防止误触,具有小型化、成孔速度快、能效高、使用方便等特点^[8],可实现隧道锚杆施工机械化。



图1 隧道锚杆钻机

液压系统采取负载敏感控制系统,可具备全方位钻进姿态调整功能^[9],一键展车/收车自动控制,采用无线遥控操作和驾驶室手动操作一键切换;钻进凿岩施工时具有自动/手动控制模式,自由切换,在自动控制模式下,仅需一个按钮便可控制凿岩机回转、冲击和给进,也可根据地层情况自动调整回转、冲击和给进压力等参数,同时控制系统设置有自动防卡功能。

1.1 机械系统

主要由履带底盘、回转支撑、机架、曲臂变幅机

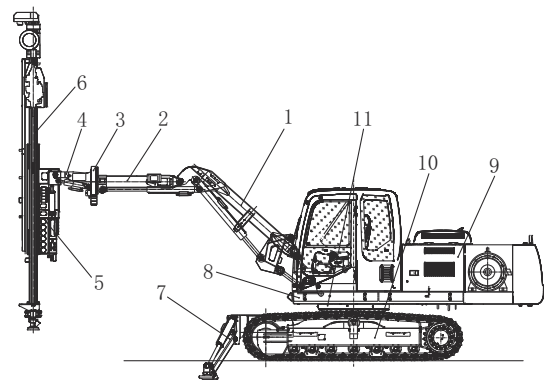
构、凿岩机、前支腿、驾驶室、电缆盘、动力单元^[10]等组成(见图 2),其中凿岩机为钻机的主要工作部件,其余为完成自动对位、角度调整、高度举升等功能的结构件。

1.2 电控系统

由配电柜、控制箱、传感器、电磁阀等组成,采用遥控+线控控制,用 EPEC 控制器和遥控器,基于 CoDeSys 开发控制程序^[11],集状态监测与远程遥控于一体。

1.3 液压系统

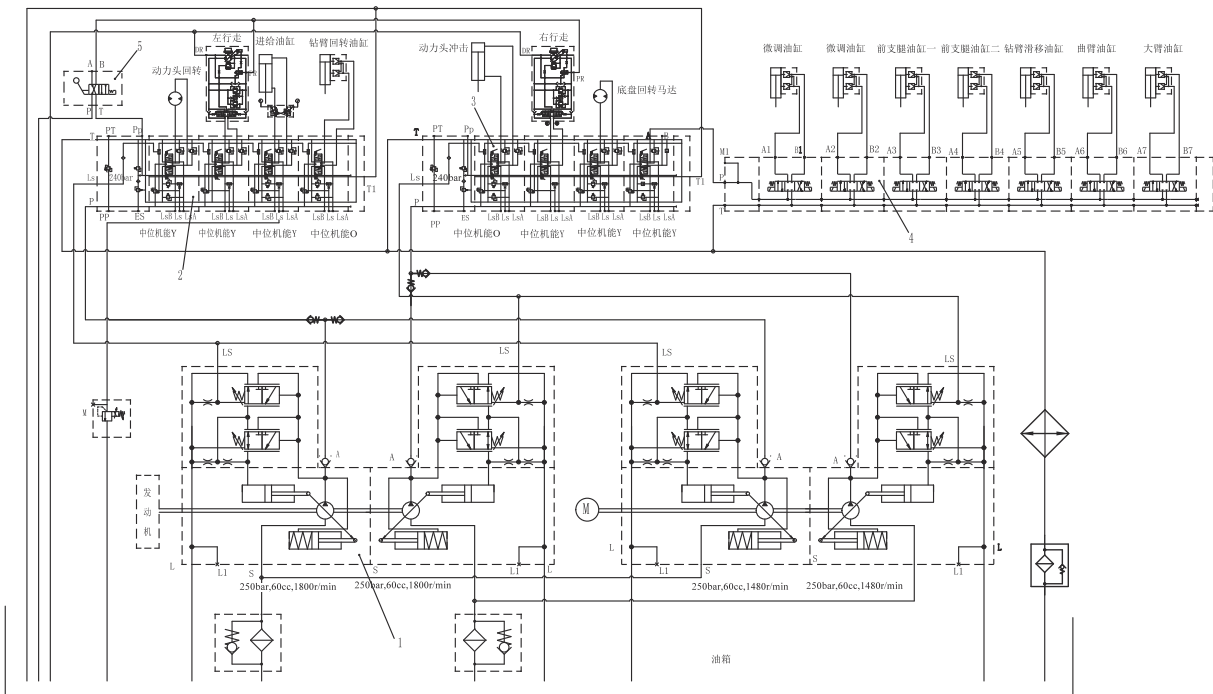
整机采用两套液压系统(见图 3),其中采用变量泵负载敏感液压控制系统、电控先导,控制履带底盘的行走速度、转向、牵引力和底盘回转速度,给进油缸的进给速度和压力、凿岩机的回转速度,正反转以及冲击频率和压力等 5 个功能,其中动力头的给进速度、给进力在遥控操作器上可调并数字化显示,其余各部件的动作采取齿轮泵定量系统控制^[12],控



1—曲臂;2—直臂;3—回转支撑;4—回转臂;5—补偿滑架;6—推进梁;7—前支腿架;8—机架;9—动力单元;10—履带底盘;11—底盘回转支撑

图 2 钻机机械部分组成

制前支腿油缸、推进梁油缸、曲臂油缸、直臂油缸、前后微调油缸、左右微调油缸、钻臂回转油缸、钻臂滑移缸的伸缩以及水路、气路开关的开合。



1—液压泵;2—四联多路阀;3—四联多路阀;4—七联多路阀;5—高/低速切换阀

图 3 液压系统

2 钻机控制系统构成

MG-20S 型隧道锚杆钻机控制系统包括以下几个部分:

(1)动力部分的控制:钻机采用康明斯发动机和

90 kW 电动机双动力,控制系统必须保证能够在两套动力之间自如切换,两套动力系统切换、启动、急停时,控制系统会将所有输出置零,重新启动时各手柄处于零位,方可启动。

钻机的发动机为电喷发动机,其具备ECU控制单元,支持SAE J1939协议,油门控制采用电位计旋钮在驾驶室和无线遥控器上两处控制。发动机状态监控用虚拟仪表显示,电控系统通过SAE J1939总线与发动机ECU通讯并获得发动机的状态数据^[13],通过油位传感器(输出电压信号)采集燃油液位信息,显示器动态显示发动机各参数或状态。

(2)无线遥控部分:主要用于车下近距离操作(可以控制所有动作),遥控距离100 m以内,无线遥控器界面布局见图4。遥控系统和线控系统切换具备自锁功能,遥控线控切换、启动时,控制系统会将所有输出置零,重新启动时,各手柄置零后方可启动^[14]。



图4 无线遥控操作器面板

(3)线控部分(操作台):安装在驾驶室内(可以控制所有动作),两个十字自复位手柄见图5,分别控制车辆行走与转向,用6个电位计分别控制凿岩机回转、凿岩机冲击、给进油缸伸缩,发动机油门、动作快慢及给进力,装6个自复位开关分别控制前后微调油缸伸/缩、左右微调油缸伸/缩、左前支腿伸/缩、右前支腿伸/缩、钻臂伸/缩、一键展车/收车;一个四位自锁开关分别控制姿态调整、钻进、行走及无状态模式;两个两档自锁开关分别控制高速/低速,给进浮动。同时安装有急停开关、发动机/电动机启停开关。

(4)钻进施工控制系统:有3种模式,第一种模式为行车控制,通过左右手柄的前后方向来控制速度和大小,实现泵、阀、变量马达的速度联调。增加速度的过程调节油泵增大排量,比例阀的开口度随泵调节。系统的加速、减速时间通过控制器调节,通过程序完成起步阶段和停止阶段具有加速上坡和减速下坡的功能^[15];行车控制模式下,其他一切操作无效,确保操控安全。第二种为姿态调整控制,通过

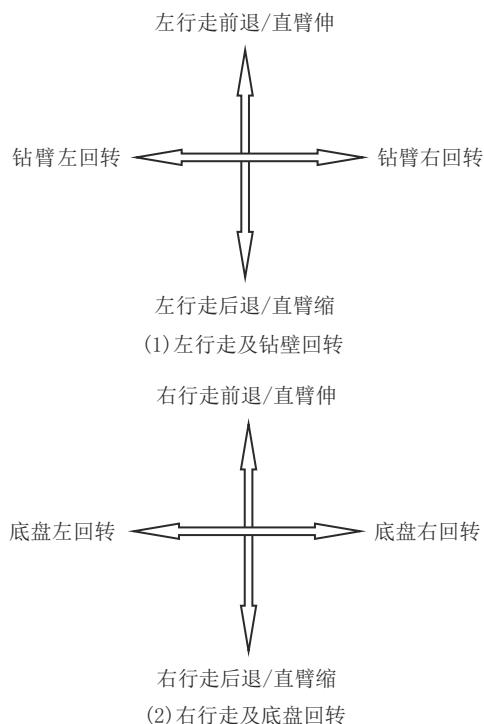


图5 十字复位手柄面板示意

电位计控制阀杆开口度大小,实现各个开关阀速度调整,程序设定各动作最大流量。第三种为钻进控制,控制凿岩机回转、冲击,给进油缸伸缩、水气路开关,其余各部开关无法动作,相互自锁,保证安全^[16]。3种控制功能间可以自如切换,且具备互锁功能。

(5)一键展车、一键收车控制:通过自动复位按钮实现一键展车与收车。

(6)其他控制:通过自动复位开关控制气路、水路の開与关,并将状态显示于操作器面板上。

3 钻机主要技术参数

MG-20S型隧道锚杆钻机主要技术参数如表1所示。

4 实际应用情况

MG-20S型隧道锚杆钻机在陕西省眉县眉太公路太白山隧道(见图6)和西藏成都川藏铁路贡觉隧道(见图7)先后进行了生产作业,其中在太白山隧道累计施工130多个孔,贡觉隧道累计施工240多个孔,分别验证了如下功能:

4.1 行走功能

实际应用时锚杆钻机搬运上车及进洞均采用自

表1 主要技术参数

Table 1 Main technical parameters

项目	参数项	参数值
凿岩机	型号	HYD300
	凿岩孔径	38~89 mm
	冲击能	300 J
	冲击频率	34~50 Hz
	冲击压力	16~19 MPa
	冲击流量	<65 L/min
	回转压力	<15 MPa
	回转流量	55~85 L/min
	回转扭矩	300~500 N·m
	转速	150~220 r/min
钻进参数	给进行程	4.3 m
	最大给进力	16 kN
	最大起拔力	20 kN
	最大钻深	16 m
	水平孔最大高度	6 m
发散孔施工高度	9.3 m	
姿态调整	钻进姿态	无线遥控,手动 360°调整姿态
	控制方式	无线遥控+线控(驾驶室)
履带底盘	牵引力	134 kN
	接地比压	37 kPa
	行驶速度	3.2~5.3 km/h
	爬坡能力	25°
	底盘总宽	2590 mm
	履带宽度	600 mm
	履带总长度	3658 mm
动力配置	柴油机	QSF3.8
	功率	93 kW
	电动机	Y160M-4
功率	90 kW	
尺寸	运输尺寸	7.2 m×2.67 m×2.96 m

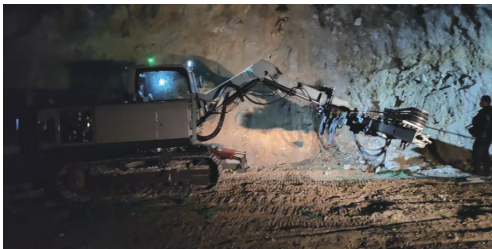


图6 眉太公路太白山隧道施工

行走,无需吊装,分别在电/柴两种控制模式下操作试验,高低速行走模式切换自如,达到了设计技术要



图7 川藏铁路贡觉隧道施工

求。在隧道内通过栈桥时操控自如,操控性得到进一步验证,其中在上下板车时爬坡角度大概在 25°左右。

4.2 成孔功能

充分利用现场条件,分别就竖直向上孔、45°斜向上孔、竖直向下孔、水平孔和 45°斜向下孔等角度都进行了钻孔,验证设计功能,特别是在高位钻孔出现卡钎情况后,结构件刚性得到验证,已经满足 360°全方位成孔功能^[17]。

4.3 控制功能

控制功能包括驾驶室控制和遥控控制,现场条件下主要采用遥控控制,驾驶室控制辅助操作。整机动作及参数显示均能在遥控器及驾驶室操作器上显示,包含工作模式切换、成孔动作控制、紧急停机、压力监控等。

(1)手动控制模式下,对凿岩机的回转、冲击,给进力大小均可由一人操作单独控制。

(2)自动控制模式下,现场根据凿岩机技术要求 and 钻进参数要求,调整优化系统预设参数后完成多个成孔,达到设计要求。

(3)两级防卡功能试验。由于边坡位置地质环境松软,难以达到卡钎参数要求,通过更改预设保护参数,人为设置卡钎工况,该功能能正常启动,一级防卡、二级防卡功能均达到设计要求。

(4)遥控及驾驶室操作。主要采用遥控器操作方式完成此项工作,各项功能均能正常工作,同时完成驾驶室内操作,两套操作方式均达到了设计要求。

5 结语

MG-20S型隧道锚杆钻机主要适用于隧道软弱围岩、断层破碎带二台阶掘进工艺,既可钻掌子面的炮眼孔,又能完成系统锚杆、锁脚锚杆孔的施工,也可用于管棚孔,露天垂直孔、斜孔的施工。该钻机为三段臂组成曲臂式变幅机构,具备全方位钻进姿态

调整功能,钻进施工可实现自动/手动控制双模式,自由切换,在自动控制模式下,仅需一个按钮便可控制凿岩机回转、冲击和给进,并可根据工况情况及时调整钻进参数。采用无线遥控操作和驾驶室手动操作一键切换,操作人员远离工作面,安全性高,只需1人操作即可成孔,减轻了工人劳动强度。可实现一键展车、一键收车功能,设备就位和撤离迅速,及时完成锚、钻、注工序和装药、爆破、运渣等工序的高效切换,提高了施工速度、降低安全隐患、减少施工成本,使各种工序专业化、规范化。其结构设计合理,具有小型化、成孔速度快、能效高、使用方便等特点。经生产试验,进一步验证了整机结构、功能、控制系统等性能、参数指标均达到设计技术,能够满足隧道两台阶掘进施工要求。下一步我公司将不断完善、优化设计,为隧道钻爆施工贡献自己的力量。

参考文献:

- [1] 许媛媛,李宗仁,周悦翔.川藏铁路:建好实现第二个百年奋斗目标进程中的标志性工程[N].人民铁道,2022-06-30(001).
- [2] 王刚.川藏铁路大盘已定 工程机械谁在进军极限工程[J].建设机械技术与管理,2022,35(1):26-30.
- [3] 高占奋,王晓辉.国内隧道工程中掘进用凿岩设备市场及技术现状[J].凿岩机械气动工具,2022,48(3):54-57.
- [4] 龙斌,刘志华,肖京.川藏铁路隧道复杂恶劣工况条件下的TBM适应性设计探讨[J].隧道建设(中英文),2021,41(S2):626-633.
- [5] 孙延龙.微台阶法在浅埋软弱围岩隧道中的应用[J].交通世界(中旬刊),2020(3):140-141.
- [6] 黄嘉亿.高速铁路隧道台阶法施工技术参数分析与应用[J].现代隧道技术,2012,49(3):77-82.
- [7] 高轩,王帅帅,王星,等.小断面铁路隧道凿岩台车钻孔施工光面爆破技术研究[J].现代隧道技术,2022,59(S1):811-817.
- [8] 孙伦业,周哲波,马合群.锚杆钻机自动分度数字控制系统的建模与开发[J].矿山机械,2008,36(19):10-13.
- [9] 牛勇,周忠尚,王伟,等.全电脑凿岩台车[J].凿岩机械气动工具,2022,48(3):6-12.
- [10] 罗诗伟,张联库.HMD-7500型多功能全液压锚固钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(3):44-47.
- [11] 唐会成.EPEC控制器在锚杆钻臂电液控制中的应用[J].煤矿机械,2020,41(7):179-181.
- [12] 罗诗伟,张联库.HQY-500型全液压钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):46-49.
- [13] 张华.掘进机控制系统升级改造设计与应用[J].机械管理开发,2022,37(6):265-267.
- [14] 张刚,孙永芳.机械电气安全控制系统设计研究[J].光源与照明,2021(10):125-127.
- [15] 潘丽君,张强.掘锚一体机全自动锚杆钻机的研制[J].中国新技术新产品,2022(15):87-90.
- [16] 张伟,付文庆.三臂凿岩台车钻孔路径优化研究[J].工程机械,2022,53(12):32-39,8.
- [17] 张健.隧道三臂凿岩台车两台阶法施工可行性分析[J].建筑技术开发,2020,47(24):64-65.

(编辑 荐华)