

岭南地区清代铁政管理与 生铁炒钢技术探究

黄全胜¹ 曲安弈² 黄谦玺³ 李延祥² 陈建立⁴

(1. 广西民族大学科技史与科技文化研究院, 南宁 530006; 2. 北京科技大学冶金与材料史研究所, 北京 100086;
3. 东北农业大学金融系, 哈尔滨 150030; 4. 北京大学考古文博学院, 北京 100871)

摘要 《两广盐法志·铁志》主要记载了清代乾隆后期至道光年间近50年的两广地区冶铁炉座开设、生铁冶铸、生铁炒炼、生产管理等相关重要历史事项,该志为梳理两广地区清代时期的冶铁面貌提供了宝贵的史料,为探索中国古代生铁炼钢技术在两广地区的发展提供了难得的线索。清代两广地区的冶铁业开炉政策是不得干碍民田庐墓,冶铁炉座主要有大炉、土炉两种,铁政管理方式主要是官准民营,但区域内的沿海地区与内地对土炉的管理政策有所区别。本文基于《铁志》等文献记载,对广东罗定地区等重点冶炼遗址开展了初步田野调查,并对相关遗物进行了金相、扫描电镜及能谱分析(SEM-EDS)实验室研究,发现了该地区迟于清代时期的生铁液态炒炼熟铁工艺遗存的科学证据。

关键词 岭南地区 冶金史 清代 生铁冶炼 炒钢

中图分类号 N092:K876.41; K878.5

文献标识码 A **文章编号** 1673-1441(2020)01-0073-16

生铁冶炼技术是中国古代重大发明之一,特别是中国古代生铁炒钢工艺,在世界冶金史上具划时代意义,对世界文明进程具有重要影响。《两广盐法志·铁志》^[1]是研究清代两广地区冶铁史的重要历史文献,对古代生铁冶炼及生铁制钢工艺等研究具有重要参考价值。道光十六年(公元1836年)刊印的《两广盐法志》共有三十五卷,其中卷三十五《铁志》主要记载了清代乾隆后期至道光时期近50年间两广地区生铁冶铸、炒炼等基本情况,以及清朝廷在该地区实施的生铁生产、产品管理政策等重要事项。基于《铁志》等文

收稿日期:2019-11-30; 修回日期:2020-02-03

作者简介: 黄全胜,1969年生,壮族,广西大新人,广西民族大学科技史与科技文化研究院教授,硕士生导师,研究方向为冶金史与冶金考古;曲安弈,1993年生,河南南阳人,北京科技大学冶金与材料史研究所博士研究生,研究方向为冶金史与社会发展;黄谦玺,2000年生,壮族,广西大新人,东北农业大学金融系本科生,研究方向为钱币史与古代金融; * 通讯作者:李延祥,1962年生,辽宁调兵山人,北京科技大学冶金与材料史研究所教授,博士生导师,研究方向为冶金史与冶金考古;陈建立,1973年生,河南人,北京大学考古文博学院教授,博士生导师,研究方向为科技考古与冶金考古。

基金项目: 国家自然科学基金(项目编号:51674004),广西民族大学人才引进科研启动项目(项目编号:2019SKQD10),国家社会科学基金重大项目(项目编号:17ZDA178)。

献记载,本文对两广地区清代生铁冶铸制钢的基本面貌及其政策进行梳理,通过对其重要遗址开展调查及研究,为探索中国古代生铁炼钢技术研究提供科学资料。

1 《两广盐法志·铁志》概况

《两广盐法志》由阮元等总修、伍长华等纂修,刊印于清道光十六年,善本共有二十册、三十五卷,前三十四卷主要记载两广地区与盐法志有关的事例事项,最后一卷专门记载与两广地区冶铁相关的事项,其中广东地区关于冶铁的记载特别丰富。《铁志》主要记载了从乾隆五十五年(公元1790年)至道光十六年(公元1836年)近50年间两广历任总督呈报朝廷户部有关炼铁事项的奏折。《铁志》属于朝廷正式官方文件,史料背景清晰、可靠性比较高,有重要的历史研究价值。

为何三十五卷的《两广盐法志》中有关炼铁的记录只占一卷?《铁志》载“粤东官山海盐之利十九,铁之利二十而一。然非官为经理,则姦弊滋焉,况帑课所关巨细必谨,爰胪列梗概殿诸卷末,云附铁志。”^[1]因海盐的收入占二十分之十九(95%),其对清朝廷维护社会的有效统治、稳定运行具重要性,因此记载更多更详细是有缘由的。而炼铁业对当地朝廷官府而言,其课税收入只占总收入的二十分之一(5%)。尽管冶铁业是社会经济发展的重要技术物质基础,但在农业社会时代,由于铁器产品属于耐用品,其生产、需求及消费的数量都远远比不上食盐的家庭普遍需求的数量,因而当时冶铁业的税收比重相对于盐业较小是可以理解的。

在古代中国,由朝廷专营盐铁的政策自汉代开始实施,汉时盐铁并榷,唐宋以来因之^[2,3]。盐铁税收是朝廷的主要来源,故选择盐铁专营来维护朝廷稳定收入及其治理统治,因为盐是人类生存的日常必需品及易耗品,家家用之,人人需之,税收最多亦最稳定。《铁志》中有载“夏书厥贡璆铁,五金之用惟铁为多。邯鄲郭纵以冶铁成业,蜀卓氏鲁曹邴氏用冶铁富凯,非能权民用识所急耶”^[1],由此可见冶铁业及铁制品行业在古代社会中的重要地位。清代之中国,铁器是老百姓家庭日常生活和生产不可或缺的主要工具,五金中铁器使用最为普遍,其税收也相当稳定。另外,朝廷严禁私造铁制武器,以防社会动荡,故对冶铁及铁料等实行专营。

2 《铁志》记载两广冶铁业的重要内容

据《铁志》所述,先秦、秦汉时期的相关文献均未提及岭南冶铁事宜,到了唐代该地区才开始置有盐铁使。明代洪武六年(公元1373年),全国总共置十三处铁冶所,每年产铁七百四十六万斤,而以广东生产的铁为最佳(参见图1)。《铁志》记载:

谨按粤东之产铁,秦以前未著也。即汉元狩四年置盐铁官,元封元年又置铁官四十郡,皆不及百粤之地。孝昭帝时桓宽作盐铁论六十篇,亦未曾详言领表铁冶之事。至唐时第五琦,刘宴辈为诸道盐铁使。宋复以铁属诸提举转运粤之铁,始稍稍有称,而终不能与吴楚齐鲁争雄。自前明洪武六年,置十三处铁冶,所输铁七百四十六万斤,而广东之铁称为最良。宏治年间,归善县请开铁冶,有司课外索贿唐大鬣等因致

乱,都御史刘大夏讨平之。正德十四年,广州置铁厂,以盐课提举司领之,禁行私贩,如盐法我。^[1]

由此可知,明代初期洪武年之后,广东地区的冶铁业开始蓬勃发展。《铁志》载:朝自定鼎以迄于今,有征七百十三万九千斤者,有征六百八十三万九千斤者,有征五百八十九万二千斤者,虽参差不等,大抵可得六百万余斤,广东一省之铁税,可谓盛矣^[1]。清代初期至道光年间,广东地区每年炼铁六百万余斤,在我国当时的冶铁业应当是占有重要地位的。

2.1 两广清代炼铁炉座的设置

清代时期,广东地区的冶铁业已具备相当规模,炉座几乎遍布所有州县。据《铁志》记载,炼铁炉座分为大炉和土炉。道光年间,两广地区现煨炉座共计 50 座(口),其中大炉 34 座,土炉 16 口。广东地区的大炉炉座 28 座占 82.35%,广西地区的大炉炉座有 6 座(含今属广东的怀集 2 座)占 17.65%。记载的土炉 16 口均位于广东地区(表 1)。

《铁志》还记载有旧志原载现煨今俱停废炉座、旧志原载暂停今俱停废炉座、旧志原载革商名炉座、旧志原载荒陷炉座,共计 67 座(口),其中旧志原载现煨今俱停废炉座 14 座、旧志原载暂停今俱停废炉座 19 座、旧志原载革商名炉座 26 座、旧志原载荒陷炉座 8 座(表 2)。由上可知,至迟于清代期间,炼铁炉座遍布广东各地州县,其冶铁业非常繁荣。

两广地区冶铁炉座开炉的要求不高,基本条件是不得干碍民田庐墓,即不得占用民众的耕作田地,不得妨碍民众的居住,不妨碍民众的墓地即可申请办理开炉炼铁;朝廷严禁私铁,包括私开炉座(包括大炉和土炉)并私运铁器,开炉炼铁及运售铁器都必须经有关衙门发放执照批准(参见图 2)。总体上看,当时的铁政管理方式是官准民营。

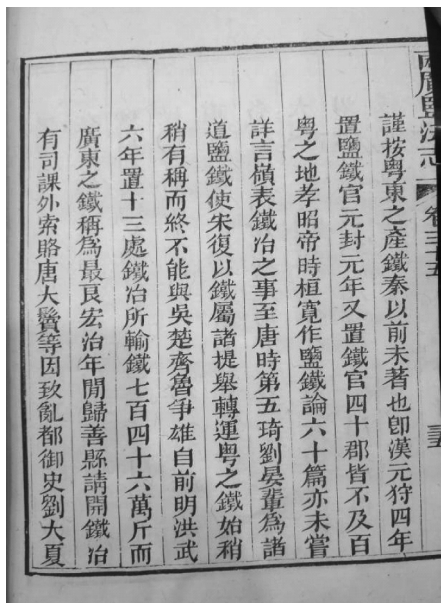


图 1 《铁志》有关广东冶铁历史的记载

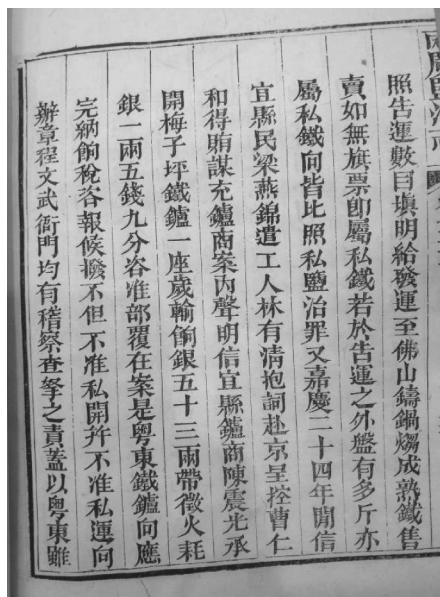


图 2 《铁志》有关广东铁政管理的记载

《铁志》载:

承开炉座,由州县查明并无干碍粮田庐墓等项。大炉结详藩司,土炉结详运司,均转详督抚咨部,仍分别由藩司运司给发示照开炉输饷。至告运铁斤,则统归运司衙门转请总督印给旗票照运,如无旗票即属私铁。^[1]

据《铁志》记载,属于私铁的主要有:一是未取得衙门准照而私开炉座者。二是不按准照的地点开炉者。三是不按准照在属内地域销售者。四是私迁炉座及私卖铁器而不报经相关衙门批准者。五是大炉改成土炉,或土炉改成大炉等。简言之,只要不经批准或不按准照规定、条例及其内容执行的,均属私铁,并比照私盐治罪。惩处主要有:豁销炉饷,缴销执照,并将私铁价解缴充公;将该炉拆毁,铁斤封禁,押拆当;漏税银两一并追解报拨充公,将该县失察职名送部查议,保邻一并治罪;等等。

表1 《铁志》记载两广地区现煅炉座(座、口)情况表^[1]

序号	现煅炉座(大炉)	现煅炉座(大炉)	现煅炉座(土炉)
1	东安县太平炉一座	罗定州永宁炉一座	清远县收旧铸新土炉一口
2	永安县黄沙约炉一座	信宜县梅子坪炉一座	新会县收旧铸新土炉一口
3	河源县大小二江炉一座	嘉应州白沙塘炉一座	龙川县收旧铸新土炉一口
4	从化县古田炉一座	嘉应州炉下坑炉一座	三水县收旧铸新土炉一口
5	曲江中尚炉一座	嘉应州松源堡炉一座	平远县收旧铸新土炉二口
6	曲江零溪炉一座	嘉应州潭头角炉一座	东莞县收旧铸新土炉一口
7	英德县南坑炉一座	嘉应州金坑约炉一座	新宁县收旧铸新土炉二口
8	长宁县鲁古炉一座	嘉应州螺子塘炉一座	南海县铸钻土炉三口
9	兴宁县冬瓜峯炉一座	兴宁县大坑尾炉一座	镇平县收旧铸新土炉一口
10	龙川县青龙约炉一座	镇平县福盆畚炉一座	乳源县收旧铸新土炉一口
11	广西怀集县君察炉一座	平远县桃园坑炉一座	兴宁县收旧铸新土炉二口
12	广西怀集县黄麋炉一座	平远县河头炉一座	揭阳县收旧铸新土炉一口
13	广西富川县大小金华炉一座	平远县黄畚炉一座	开平县收旧铸新土炉一口
14	广西临桂县金带江炉一座	平远县鄒坊炉一座	
15	广西思恩县霸连炉一座	平远县石正炉一座	
16	广西贺县平吉炉一座	平远县东石炉一座	
17		长乐县龙玉湖炉一座	
18		兴宁县柿花岗炉一座	
	(以上炉座均在广东省输税)	(以上炉座均在就近州县输税解缴省库)	(以上土炉各口饷由运使征收税归州县完解)
小计	16	18	16

表 2 《铁志》记载两广地区旧志原载炉座情况表^[1]

序号	旧志原载现煊今俱停废炉座	旧志原载暂停今俱停废炉座	旧志原载革商名炉座	旧志原载荒陷炉座
1	清远县坪心炉一座	清远县龙帽顶炉一座	清远县南北二坑炉一座	连平州大乡水炉一座
2	花县连珠炉一座	清远县栢木凹炉一座	清远县白花坪铜场东坑炉一座	罗定州水源炉一座
3	花县车头整炉一座	龙门县龙岗炉一座	龙门县龙田炉一座	西宁县古罗坑炉一座
4	龙门县白梅岗炉一座	龙门县黄沙坑炉一座	从化县五指石凹双水炉一座	保昌县黄岗炉一座
5	龙门县低凹炉一座	从化县苏鬼地炉一座	从化县大水桥炉一座	长乐县芹菜湖炉一座
6	龙门县三坑炉一座	从化县矿坪炉一座	归善县洋岛潭炉一座	长乐县黄沙约炉一座
7	龙门县庙子角炉一座	从化县艾窝炉一座	长宁县忠田炉一座	揭阳县霖田都狮头约小溪棚炉一座
8	龙门县大麻埔炉一座	从化县高坪炉一座	长宁县礞头约土名松山处炉一座	揭阳县霖田都滩下招坑炉一座
9	增城县背阴山炉一座	长宁县立溪炉一座	罗定州三山石门炉一座	
10	长宁县白沙坑炉一座	长宁县雪岗炉一座	罗定州金陵百花小岗炉一座	
11	长宁县石合炉一座	永安县上壘炉一座	罗定州黄沙坑鑿石炉一座	
12	英德县黄岗炉一座	东安县永宁炉一座	罗定州筋撞炉一座	
13	翁源县老珠塘炉一座	英德县鲤鱼塘神仙尾炉一座	东安县扶鑿炉一座	
14	怀集县蒲岗炉一座	英德县大小岗炉一座	东安县全胜炉一座	
15		翁源县三义水炉一座	东安县锡场山炉一座	
16		翁源县黄泥坑炉一座	东安县南铺芦荻炉一座	
17		乳源县江湾炉一座	西宁县中火炉一座	
18		阳山县尔岗三元坑炉一座	西宁县平民岗炉一座	
19		始兴县坑子山炉一座	英德县东坑尾炉一座	
20			英德县苏茅坪炉一座	
21			英德县蕉园滑水山蛇子坑炉一座	
22			曲江县鹿湖山炉一座	
23			曲江县罗坑炉一座	
24			翁源县塘子巾炉一座	
25			翁源县杨梅栋炉一座	
26			乳源县大布炉一座	
小计	14	19	26	8

2.2 大炉与土炉的管理

据《铁志》记载 岭南地区的炼铁炉座分大炉和土炉。大炉即开山取矿煅炼生铁并铸銼砖者;土炉是在村市开设炼炉 收买民间废铁再熔 改铸锅头农具就地销售;名虽为炉,实质上与铁铺无异。所有炉座的开设准照 均需户部备案。《铁志》有载:

有大炉土炉之分。大炉铸扇铁斤,由藩司给照详明巡抚衙门咨部,炉饷由藩司征收报拨,铁税运司征收转解藩司报拨。土炉铸造农具,由运司给照详明总督衙门咨部,饷税俱由运司征收转解藩司,按年将饷税数目,分别向来造册报拨。有案其非咨部给有司照者,概不准私开,犯者与私盐相同。^[1]

无论大炉或土炉,均需要朝廷衙门批准才能开炉炼铸,不准私开炉座,不准私运铁斤。大炉须在藩司衙门报充,并由藩司给照,而土炉则由运司衙门管理,所征收饷税由运司转解藩司。对大炉和土炉的课税是有区别的,一般是根据出铁多寡而完税不同。大炉一座每年至少输饷银五十三两,另有火耗银等其他税项;而土炉每岁至少输饷银五两三钱,另随征其他税项。

关于大炉管理,在嘉庆二年(1797年)户部咨复前署两广总督朱珪的公文中,提及粤东开设大炉一座岁输饷银五十三两,大炉每座递年煅出銼砖八九十万余斤完税银四百余两。道光四年(1824年)二月刑部咨复该地巡抚陈中孚有关广州府等承审河源县民曾南茂私开铁炉一案中,也提及信宜县炉商陈震光承开梅子坪铁炉一座,岁输饷银五十三两,带征火耗银一两五钱九分^[1]。由此可知,每座大炉每年纳饷银的基准是五十三两,另带征其他种类的税银。

大炉管理细则中,朝廷规定大炉炼铁十万斤,可加渣滓五万斤作为制炼之耗,外加抓络(经咨当地考古文物工作者褫细贤先生,应为广东当地方言,意为捆绑铁块的包装物)三千斤。而土炉专铸净铁成农具,则没有加渣滓及加抓络的规定。《铁志》载:

铁块系矿石镕化,渣滓甚多,尚需制炼方能成铁,奉准以十万斤加渣滓五万斤,作为制炼之耗,外加抓络三千斤。如运铁十万斤计六百吊,除原告运十万斤又加渣滓抓络之外,盘有多斤著商铺纳余饷,倘有盘出多吊即属私铁,比照私盐治罪。至土炉专铸犁头农具等项,系铸成净铁,毋庸另增加五渣滓,亦无外加抓络。

谨按大炉铁块加五渣滓,系康熙三十一年(1692年)详奉巡盐御史沙拜批准,至抓络一项,系向来验铁事例,嗣于嘉庆十三年(1808年)间咨请部,颁盐铁秤杆案内,将渣滓抓络两项声明咨部,是年奉准,部复呈明总督坎入运铁票内。又旧志开载,盘出多铁每百斤追纳饷斤吊银五分三厘四毫二丝。^[1]

至于土炉管理,《铁志》中有记载。乾隆五十五年(1790年)、五十六年(1791年)户部咨复届时两广总督福康安,以及乾隆五十七年(1792年)、五十八年(1793年)户部咨复当时署理两广总督郭世勋呈报的兴宁县罗展成有关土炉收旧铸新一案中,有关叙述相当详细。开设收旧铸新的土炉由运司衙门呈请院台印发旗票,并转发该县收存;要求炉户每天记录填明铸造生产的锅头农具数量,按月填单缴县,输税请领旗票运卖。每年输饷银五两三钱,统由兴宁县征收。州县照依运司衙门征收铁税,税种包含军监压加税银、斤吊银、加平银,随征税种还有部规银、稿差银、铁规银、小礼银等,每一万斤铁要纳税银计五两三钱七分五厘,随征税银计六两二钱一分。即土炉凡收旧铸新每一万斤铁共计纳税银至少

十一两五钱八分五厘。炉户投纳在库后,该州县即填旗票,注明期限并给商收执照运,炉户可在州县属内就近市镇发卖,依照期限缴销并申送运司衙门转缴察核,如有超过期限情形,照例要追罚,所收各银分款列册并汇解运库报销^[1]。

从《铁志》记录的案件得知,沿海地区和内地对开设土炉有区别。在沿海地区,私开土炉是严禁的;但在内地非近苗产铁之处,所铸锅头农具亦非有千例禁,自应悉听其便。但土炉收旧换新贩至五百斤以上,不由官请照盘验,应同私盐论治罪。

2.3 出海铁器的管理

清代朝廷对铁器出海管理非常严格。户部规定“凡铁斤铁货废铁,令海关监督严禁出洋”,出海船只可准携带煮食铁锅一口,多带铁锅出海者就会按照废铁出洋例治罪;每船人数不得超过十人,每人只准携带斧斤一把。地方官员在执照中均注明携带铁制品物品名称、数量,便于出入海关口岸时查验,发现出海时夹带或出海回来上岸入关时铁斧缺少均被严行究治。如果官役徇纵也将一并追究处理。从制度安排看,其对出海铁器的管理相当严格,违犯相关规定者遭受的惩罚亦非常严厉。《铁志》记载的有户部则例:

凡铁斤铁货废铁,令海关监督严禁出洋。其有变卖与商渔船只潜出外洋者,照斤数多寡分别治罪。沿海文武员弁,奉行不力及徇私故纵者,议处沿边近边各关隘,俱照此一律办理。若系内地商民转相货卖,地方文武员弁及关津兵弁借端索诈,计赃治罪。

各处洋船出口,准带煮食铁锅,其有额外多带铁锅出洋者,照废铁出洋例治罪。沿海樵探船只,每船止准带铁锅一口,每人止准带斧斤一把,在船人数不得过十人,令地方官于照内注明,出入查验若有夹带出口及进口缺少者,均严行究治,官役徇纵一并究处。^[1]

嘉庆四年(1799年)十月,两广总督吉庆在奏折中称,其间牟利奸商因铁器出洋获利数倍,例禁不许多带,或托名修船多带铁钉,或潜将铁锅铸厚,或将船桅多用铁箍蒙混出口,亦难保其必无。飭行雷琼二郡,将所用铁锅农具每年需用成数查明具报;并飭佛山同知详查照,依额数给照运往,仍将铁锅农具斤数注明,并严禁厚锅,一概不许夹带,违者治罪。客商船桅有用铁箍者,令各海口登记,回时查验。至向来海船出口恐沿途损坏,应需修制,许酌量携带铁钉,亦不免多带偷漏;查看船只大小定以数目,不许私行,多带违者一并究治。

2.4 生铁铸造与生铁炒炼线索

道光四年(1824年)二月,刑部咨复巡抚陈中孚呈奏河源县民曾南茂私开铁炉一案中,提及“至铁商煽出铁斤,赴官告运,由州县将运司转奉总督印发旗票,照告运数目填明,给发运至佛山铸锅,煽(同炒)成熟铁”^[1]。由此可知,佛山除铸锅头农具外,还将生铁炒成熟铁。

《铁志》又有记载,“欵盖天下之铁莫良于广东,而广铁之精莫过于罗定,其铁光润而柔可拔为线。然其铸而成器也,又莫善于佛山,故广州、南雄、韶州、惠州、罗定、连州、怀集均输于佛山去”。此处提及的“广铁之精莫过于罗定,其铁光润而柔可拔为线”^[1]。其中,由“铁柔可拔为线”可以肯定不是生铁,进而可以断定此罗定铁应为熟铁或低碳钢等。

由《铁志》记载可知,清代广东地区各处炉座均可铸造食锅农具,因佛山铸造技术更

佳或铸造器物种类更多更齐全,各地炉座生产的生铁多运往佛山铸造成器。同时,从文献记载可初步推断:清代广东地区至少存在两处生铁制钢基地,一是佛山地区,二是罗定地区。

3 广东罗定南海生铁冶炼遗址初步调查

基于《铁志》记载,广东罗定和佛山有生铁制钢的线索,因此本次研究选择具有代表性的罗定和佛山南海冶铁遗址开展实地田野调查(图3)。2013年秋,作者第一次赴罗定开展初步调查;2019年夏季,作者又两次分赴罗定和南海开展田野调查复查工作,现将调查所见报告如下。

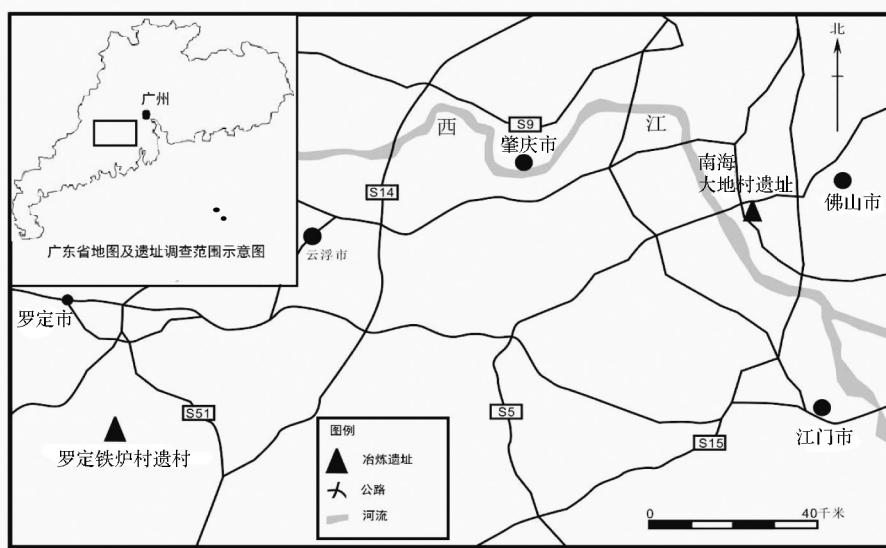


图3 广东罗定和南海冶炼遗址调查示意图

3.1 罗定市铁炉村冶炼遗址

罗定市铁炉村遗址,中心地理坐标: $111^{\circ}38'53.62''E$ $22^{\circ}31'15.04''N$; 海拔 266m(GPS 实测数据)。广东前辈于 1982 年调查中发现,罗定有铁炉村、旧炉督、鸡公炉、筋渣炉、鑿石炉与水源炉(后 2 座今属信宜县)等 6 处冶铁炉遗迹遗存。遗址年代定为明、清时期。其中铁炉村遗址以炉为地名,约 50 m^2 ,有大量炉渣、矿石和炭屑遗存。据当时铁炉村退休教师叶其华所述,上述 6 座铁炉同属一个炉主,炉主是麦文元,东莞人(一说广州人),其四世祖曾向水源炉欧姓人学铸铁。铁炉村的铁炉是总炉,其他 5 座铁炉炼出来的生铁均汇集到铁炉村冶炼,在铁炉村铁炉的东侧不远处有炒炉遗址。铁炉村既有大炉鼓铸生铁,也有炒炉炒铁。在遗址还保留有结铁一块,露出地面部分长 150cm、宽 50cm,全貌不清楚。当时只对铁炉、炒炉进行地面调查,没有发掘。铁炉位于村前一个高不过 50m 的山岗内侧,与分界炉下村铁炉靠山结炉方式相同,因山崩土掩,铁炉形状不详。筑炉红砖被拿来铺路,俯首可拾,砖厚重而松散。在炉前水田及田埂边可拾到铁渣^[4 5]。

作者在铁炉村调查期间,得知叶其华老师早已去世,其小孩均已搬到镇上。调查发

现 炼铁炉依小山坡而建 被松软泥土和茂密植被所覆盖 炉址上种有芭蕉树(图4)。稍作清理 便发现炼炉顶部遗存 呈圆形 炉壁厚约 10cm 直径不详; 炼炉深度亦不详 从遗存顶部至地平面约 270cm; 从对遗存炉壁的初步观测推定 其建设材料应为三合土 所含砂砾比较多 多为直径 1—2mm 不规则椭圆形砂砾。山底部有水渠流过 平地均为水田 偶见小块炉渣遗存。距炼炉东边约 15m 处 有小河经过 有村民在此养鸭。河边有一条可通行手扶拖拉机的小路 经当地向导指认 在路旁见炒铁炉遗迹(图5、图6)。距炒铁炉约 5m 河边处 发现有一积铁块遗存; 积铁块为不规则的长椭圆形 最长约 150cm、最宽约 50cm、最厚处约 70cm 表面观测为金属铁和木炭凝结一起成团块(图6) 重量不详。调查期间研究团队三个男子试图齐力将此积铁块移挪一下 纹丝不动。河边小路旁发现有炉渣等遗存。调查复查期间 采集到该积铁块中的铁块等遗物。



图4 罗定市船步镇铁炉村遗址



图5 罗定市船步镇铁炉村遗址炒铁炉遗迹



图6 罗定市船步镇铁炉村遗址炒铁积铁块



图7 佛山南海大西村遗址

3.2 南海铁屎墩冶炼遗址

南海铁屎墩冶炼遗址中心地理坐标为 $112^{\circ}55'05.18''E$ $22^{\circ}57'42.58''N$ 海拔 -2m (GPS 实测数据) 位于佛山市南海区西樵镇百西村委会大地村。第三次文物普查资料对该遗址有记载^[6]。铁屎墩冶炼遗址为一台地 原面积约 $700m^2$ 现仅存 $180m^2$ 左右。遗址第二层为冶炼铁屎残渣堆积层 厚 1.2—1.3m; 堆积层中有经煅烧之红土块 炭黑色铁渣 间有锈蚀现象 质坚而重; 也发现有直径约为 10cm、长约 15cm 的圆筒形灰黑色粗厚坚硬

的陶片。第三层为原生土层。文化层虽有陶片,但缺乏鉴定特征,遗址尚未进行发掘,具体情况不详,年代初步定为清代。1994年7月,它被南海市人民政府公布为南海市文物保护单位。2006年10月,佛山市人民政府将其公布为佛山市文物保护单位。

作者在南海铁屎墩冶炼遗址调查复查期间发现,遗址附近是工厂车间、水田和菜地(图7)。遗址覆盖着茂盛的植被,遗存炉渣堆积大部分被杂草掩盖,所见炉渣多为黑色,被灰色泥土粘裹,有些炉渣附有铁锈色。宏观观测那些炉渣,与其他冶铁遗址的冶炼渣有一定差别。该遗址的技术内涵及年代(黄全胜等,进行的广东南部地区明清时期冶铁遗址炉渣研究,待刊)等很有必要深入调查及研究。

3.3 罗定市铁炉村遗址遗存积铁块的检测分析

金属样品是从铁炉村遗址遗存的积铁块(图7)表面不同位置上凿敲取得,实验室样品编号分别是LDT01、LDT04。实验方法主要是通过金相组织观察和SEM-EDS检测分析,研究金属铁块的材质和冶炼工艺。样品全部取自上述之积铁块表层处,经过冷镶、磨平、细磨、抛光之后,用3%硝酸酒精溶液侵蚀,在北京科技大学科技史与文化遗产研究院的徕卡DM4000M型金相显微镜下观察其组织,同时拍摄照片。SEM-EDS检测是利用北京科技大学科技史与文化遗产研究院实验室的VEGA3 TESCAN电子显微镜完成。

表3 广东罗定市船步镇铁炉村遗址炒铁积铁块金相组织

实验室样品号	金相组织观察结果	材质判定
LDT01	铁素体组织,晶粒粗大,质地比较纯净,较多空隙缺陷。有微量元素磷偏析形成的较多的条带状组织,夹杂物未变形。	炒炼之熟铁
LDT04	铁素体组织,晶粒粗大,质地比较纯净,较多空隙缺陷。有微量元素磷偏析形成的较多的条带状组织,夹杂物未变形(图8)。	炒炼之熟铁

表3为本研究在铁炉村遗址遗存的积铁块上凿取的铁块金相组织观测结果。两个样品LDT01、LDT04的金相组织均为铁素体组织;晶粒粗大,应是冷却过程较为缓慢之结果;显微观察铁块基体见有微量元素磷偏析形成的大量条带状组织,较多空隙缺陷,夹杂物未变形(图8、图9)。夹杂物为硅磷硫钙杂质残留,其成份见表4。

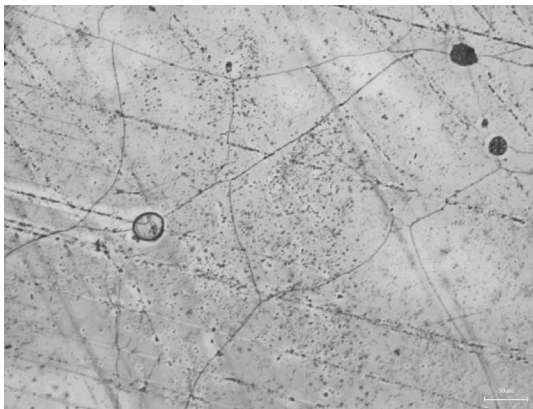


图8 罗定市船步镇铁炉村遗址炒铁积铁块 LDT04 样品金相显微组织 铁素体组织 条带状磷偏析

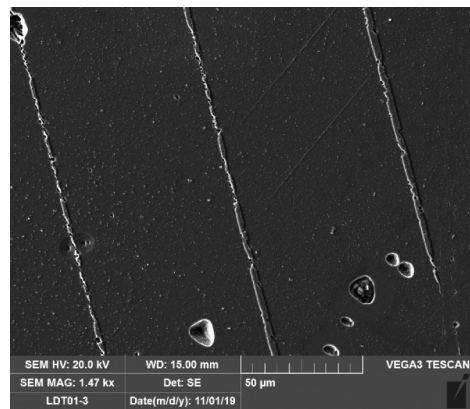


图9 罗定市船步镇铁炉村遗址炒铁积铁块 LDT01 样品二次电子图片 条带状磷偏析

金属样品 LDT01、LDT04 的磷含量比较高,金属铁基体磷的含量平均 1.0% (wt%), 同时有氧的存在(表 4) 磷偏析普遍存在(图 9)。金属铁中的磷很可能是以 P_2O_5 化合物形式存在,值得关注。由于冶炼温度等原因,古代块炼铁冶炼(一般是 1100—1200℃)的产品金属铁中几乎不含磷^[7-10],而冶炼生铁过程(实践温度 > 1400℃)中,磷几乎全部进

表 4 广东罗定市船步镇铁炉村遗址炒铁积铁块 SEM-EDS 分析结果

样品名称	实验室编号 与分析位次	元素组成(Wt%)										
		O	Si	P	S	Ca	Mn	Fe	V	Cr	备注	
铁块	LDT01	大面扫	2.7	n. d	0.6	n. d	n. d	n. d	96.7	n. d	n. d	铁块基体
		点扫 1	1.3	n. d	0.7	n. d	n. d	n. d	98.1	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 2	1.1	n. d	0.5	n. d	n. d	n. d	98.4	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 3	n. d	n. d	0.6	n. d	n. d	n. d	99.4	n. d	n. d	基体
		点扫 4	1.2	n. d	0.8	n. d	n. d	n. d	98.1	n. d	n. d	基体
		点扫 5	1.2	n. d	0.7	n. d	n. d	n. d	98.0	n. d	n. d	基体
		点扫 6	n. d	n. d	0.8	n. d	n. d	n. d	99.2	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 7	n. d	n. d	0.9	n. d	n. d	n. d	99.1	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 8	n. d	n. d	0.8	n. d	n. d	n. d	99.2	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 9	n. d	n. d	0.5	n. d	n. d	n. d	99.5	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 10	1.0	n. d	0.8	n. d	n. d	n. d	98.2	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 11	n. d	n. d	0.7	n. d	n. d	n. d	99.3	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 12	1.3	n. d	0.7	n. d	n. d	n. d	98.0	n. d	n. d	基体
		点扫 13	29.1	12.7	2.5	4.5	n. d	n. d	51.2	n. d	n. d	夹杂物
		点扫 14	3.7	5.9	n. d	27.6	n. d	n. d	62.8	n. d	n. d	夹杂物
		点扫 15	24.4	n. d	4.0	n. d	n. d	n. d	71.6	n. d	n. d	夹杂物
点扫 16	37.3	0.2	1.3	0.2	n. d	n. d	61.1	n. d	n. d	夹杂物		
铁块	LDT04	大面扫	1.6	n. d	1.4	n. d	n. d	n. d	97.0	n. d	n. d	铁块基体
		点扫 1	n. d	n. d	1.1	n. d	n. d	n. d	98.9	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 2	n. d	n. d	1.1	n. d	n. d	n. d	98.9	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 3	n. d	n. d	1.2	n. d	n. d	n. d	98.8	n. d	n. d	基体
		点扫 4	0.8	n. d	1.1	n. d	n. d	n. d	98.1	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 5	0.9	n. d	1.0	n. d	n. d	n. d	98.1	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 6	1.0	n. d	1.0	n. d	n. d	n. d	98.0	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 7	1.1	n. d	0.9	n. d	n. d	n. d	98.0	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 8	1.1	n. d	1.0	n. d	n. d	n. d	97.9	n. d	n. d	铁块基体
		点扫 9	n. d	n. d	n. d	34.1	n. d	1.9	62.6	0.8	0.6	夹杂物
		点扫 10	42.9	24.0	0.9	0.4	0.2	n. d	31.6	n. d	n. d	夹杂物
		点扫 11	0.8	0.2	n. d	30.2	n. d	2.0	65.6	0.6	0.4	夹杂物
		点扫 12	1.3	n. d	1.5	n. d	n. d	n. d	97.2	n. d	n. d	条带状组织
		点扫 13	0.3	n. d	1.8	n. d	n. d	n. d	97.9	n. d	n. d	条带状组织
点扫 14	n. d	n. d	1.7	n. d	n. d	n. d	98.3	n. d	n. d	基体		

注: n. d 为未检出含量。

入生铁中^[11-14]。故,铁基体是否含有磷当为区分古代块炼铁和生铁炼钢原料的关键指示物;同时,两者之夹杂物是否含有磷或磷化合物,也是区分古代块炼铁和生铁炼钢原料的重要特征之一^[9]。因此,金属铁样品 LDT01、LDT04 的原料应是生铁。该积铁块是首次在岭南地区发现的生铁炒炼遗存遗物,具较高的科学研究价值。

生铁炒炼是在高温环境下氧化去除生铁中杂质的过程。因为高温环境下,生铁中的各种杂质在不同程度上与氧都有较大亲和力,其中硅、锰都较易氧化;与此同时,硅和锰的氧化反应会释放出很多的热量,使炉温迅速上升,加快碳的氧化。理论上,磷的氧化在并不太高的温度下就可发生。但在生铁炼钢过程中,FeO 是脱磷的首要条件,CaO 是脱磷的必要条件,只有在碱性炉渣中,有充足的 CaO 与磷生成稳定的化合物 $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$,才能达到脱磷的目的。如果炉渣呈酸性,高温下不稳定的 $3\text{FeO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ 极易分解和还原出 P_2O_5 ,而不稳定的氧化物 P_2O_5 在高温下又重新进入钢液中,出现回磷现象^[15]。而该遗址炉渣样品检测的炉渣碱度 $[\text{CaO}]/[\text{SiO}_2]$ 为 0.04—0.08, $([\text{CaO}] + [\text{K}_2\text{O}])/([\text{SiO}_2] + [\text{Al}_2\text{O}_3])$ 为 0.08—0.12(黄全胜等进行的广东南部地区明清时期冶铁遗址炉渣研究,待刊)。从碱度看,该遗址的炉渣属于酸性炉渣。在高温炒炼过程中,由于没有足够的 CaO 与磷生成稳定化合物 $4\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$,导致出现回磷现象, P_2O_5 重新进入铁液中。因此,金属铁样品 LDT01、LDT04 磷含量比较高。

LDT01、LDT04 两个样品的金相组织均为晶粒粗大的铁素体组织,相当于现代的纯铁。该金属铁样品很有可能是氧化炒炼操作过度,生铁完全脱碳后生成纯铁。而纯铁的熔点达到 1500℃ 以上,氧化脱碳过程结束后,在当时冶炼条件下的还原过程较难达到再熔的温度。而该积铁块为何被废弃目前不详。

LDT01、LDT04 两个样品,是从金属铁和木炭凝结成的积铁块的表面采集,据此初步判断有可能当时是以木炭为燃料来炒炼;但从其夹杂物成分硫的含量看,其生铁原料不能排除用煤作为燃料的可能性,也有可能是矿料脉石等硫化物残留,尚待进一步研究。

4 讨论

4.1 清代两广地区生铁制钢的主要工艺

《铁志》为探究清代两广生铁制钢工艺提供了宝贵的线索。在明末清初屈大均(1630—1696年)所著的《广东新语》卷十五《货语》中,对佛山地区的生铁制钢工艺的记载略详“其炒铁。则以生铁团之。入炉火烧透红。乃出而置砧上。一人钳之。二三人锤之。旁十余童子扇之。童子必唱歌不辍。然后可炼熟而为鏢也。”([16], 页 409—410) 在清代广东学政李调元(1734—1802年)的《南越笔记》卷五关于“铁”也有相同内容的记载^[17]。从时间顺序看,李调元所撰《南越笔记》的相关内容应是摘录自屈大均的《广东新语》。由此可知,佛山此种生铁制钢工艺至迟于明末清初就存在。

尽管《铁志》对制钢工艺没有具体描述,但从《广东新语》等相关文献记载,以及遗址遗存遗物的检测分析,可以初步判定,清代广东地区的生铁制钢工艺至少存在两种:一是佛山地区的煽炼法,二是罗定市铁炉村的液态炒炼法。

据《广东新语》描述,佛山之炒铁,以生铁团之入炉,火烧透红,是高温氧化脱碳之过

程; 二三人锤之, 旁十余童子扇之, 亦是继续氧化脱碳的过程; 反复多次捶打, 可以加快其碳挤出至表面, 童子扇之则可以起到加强其表面氧化脱碳之作用。经过多次高温氧化脱碳, 以及反复捶打并不停扇风增强表面氧化脱碳, 然后可炼熟, 捶打成为鏊状薄块以备用。仅从《广东新语》的描述可初步判定, 佛山地区的炒炼熟铁法应属于古代生铁制钢体系中的煽炼法, 即生铁固体脱碳制钢工艺之一。佛山地区是否存在其他的炒炼熟铁工艺, 尚待进一步深入田野调查取样及实验室研究。

据前辈的研究成果, 以及罗定铁炉村遗址遗存的炼炉、炒炉、炒炼积铁等遗物遗迹, 可初步推断罗定铁炉村遗址很可能采用了生铁液态脱碳制钢工艺。而我们特别关注的炒炼遗物积铁块, 是由已熔化的铁块和木炭凝固成块。根据检测分析结果综合判定, 该积铁块应是生铁液态脱碳制钢工艺的遗物。明代宋应星的《天工开物》中, 记载有生铁炒钢法^[18]。罗定铁炉村遗址采用的生铁液态脱碳制钢工艺, 很可能与明代宋应星描述的生铁炒钢法是同一种工艺, 值得进一步研究。

在民间, 一般是以能否直接锻打成器者, 作为区分生铁和熟铁的标准。熟铁意味着可以锻打成器, 而生铁则不可直接锻打。因为生铁中含碳量高, 其性能是硬而脆, 几乎没有塑性, 只能铸造成器。现民间铁匠还是认为, 铁越软就是越熟, 铁越熟就会越软。

4.2 清代两广地区生铁冶炼业的比较

从《铁志》看, 清代时期岭南两广地区生铁冶炼业的发展重点区域是在广东。当时广东地区的冶铁业相当繁荣, 炼铁炉座大炉、土炉遍布各州县。据《铁志》记载, 两广地区现煽炉座大炉 34 座, 广东地区 28 座占 82.35%, 土炉 16 口均位于广东地区。旧志原载现煽今俱停废炉座、旧志原载暂停今俱停废炉座、旧志原载革商名炉座、旧志原载荒陷炉座共计 67 座(口), 亦均位于广东地区。而广西地区的 6 座大炉主要分布在桂东南部, 譬如怀集县君察炉、怀集县黄麝炉、富川县大小金华炉、贺县平吉炉; 以及零星分布在桂北部的, 如临桂县金带江炉、思恩县霸连炉。就岭南地区而言, 广西属于内地, 很可能还有一些产量比较小的(500 斤以下)土炉或者铁铺没有记载在册。但就冶炼规模看, 广西当时的冶铁业与广东地区是无法比拟的。

当时广东地区冶铁业的繁荣发展, 很可能是主要得益于技术传统的优势, 特别是其钢铁产品的质量上乘, 生铁铸造产品种类较为齐全。《广东新语》记载佛山“计炒铁之肆有数十。人有数千。一肆数十砧。一砧有十余人。是为小炉。炉有大小。以铁有生有熟也。故夫冶生铁者。大炉之事也。冶熟铁者。小炉之事也。其钢之健贵乎淬。未淬则柔性犹存”([16], 页 410)。广东地区既有大炉生铁冶炼技术, 又有生铁炒炼制钢工艺。生铁炒炼制钢工艺至少存在佛山地区的煽炼法和罗定地区的液态炒炼法等两种当时比较先进的生铁制钢工艺, 而《铁志》则没有记载广西地区的生铁炒炼制钢工艺。前人的文献可能记录不全, 不能就此否定生铁炒炼制钢工艺在广西地区的存在; 但同时也暗示着当时广东地区钢铁冶炼技术发展的重要性。再者, 广东地区的沿海地缘优势也很可能是其钢铁冶炼技术繁荣发展的有利的重要条件。

4.3 清代两广地区冶铁业管理与经营方式

清代广东地区冶铁业的繁荣发展, 很可能也得益于朝廷当地衙门对冶铁业管理的政策及实施相对持续稳定有关, 再者就是与其针对沿海和内地不同的实际情况所采取的灵

活措施等也有关系。清初开始,朝廷的矿业管理政策比明代后期的官营方式要宽松,都是采用民采官税的措施,有利于激发民间开采矿业的积极性。清代两广地区的铁政管理主体方式是官准民营。民间开炉冶铁的基本要求比较简单明了:只要不占用民众的耕作田地,不妨碍民众的居住,不妨碍民众的墓地就可申请办理开炉炼铁;依照规定到相关衙门藩司或运司申请执照,依准照每月报税纳税,在规定区域内运售即可。从清初到道光期间,其官准民营的铁政管理方式及措施基本上都比较稳定,这样是有利于冶铁业的持续发展的。

朝廷严禁私铁,规定所有炉座的开设必有准照,开炉炼铁和运售铁器都必经朝廷相关衙门发放执照批准,均需户部备案。与此同时也进行了分类管理。岭南地区的炉座分大炉和土炉,大炉由藩司发放准照及管理,而土炉则由运司发放准照及管理。同时管理方法也具有一定灵活性:在沿海地区,私开土炉是严禁的;在内地非近苗产铁之处,所铸锅头农具亦非有干例禁,自应悉听其便,但土炉收旧换新贩至五百斤以上,则必有准照,否则同私盐论治罪。

清代两广地区冶铁业的经营方式主要是民营为主。既有炉场,也有行会组织^[19-21]。炉场的经营规模相当大,《广东新语》记载“凡一炉场。环而居者三百家。司炉者二百余人。掘铁矿者三百余。汲者、烧炭者二百有余。驮者牛二百头。载者舟五十艘。计一铁场之费。不止万金。日得铁二十余版则利赢。八九版则缩。……然诸冶惟罗定大塘基炉铁最良。悉是错铁。光润而柔。可拔之为线。铸镬亦坚好。价贵于诸炉一等。”([16], 页409)而行会组织要数佛山为较全,《广东新语》有载“诸炉之铁冶既成。皆输佛山之埠。佛山俗善鼓铸。其为镬。大者曰糖围……牛一、牛二。小者曰牛三、牛四、牛五。……无耳者曰牛。魁曰清。古时凡铸有耳者不得铸无耳者。铸无耳者不得铸有耳者。兼铸之必讼。”([16], 页409)由此可见,行会是有组织的,分工也比较明确,经营是有规矩可遵循的。这些相对稳定的铁政管理和相对有序的民营方式,有益于激发冶铁业及其钢铁技术的发展。

5 余语

考古研究结果表明,中原地区至迟于春秋晚期发明生铁冶炼技术^[22, 23],西汉时期已广泛使用炒钢技术。中原地区之外,在我国的岭南、西南和东南地区也发现有汉代炒钢制品出土,说明至迟于汉代时期,中国大部分地区已经大规模使用炒钢制品([24], 页389—396; [25]—[28])。西汉时期的广州南越王墓出土有多件炒钢制品([24], 页389—396),广西桂平大塘城汉代墓葬出土的长铁剑也是炒钢制品^[28],标志着古代炒钢制品在岭南地区的传播。

罗定铁炉村冶炼遗址生铁液态炒炼工艺的发现,对冶金史研究具有重大意义,为探究古代炒钢技术在岭南地区的传播及其发展等提供了科学资料。前人工作表明,罗定地区至晚自明代就开始钢铁冶炼活动。《铁志》还记载有罗定州三山石门炉、金陵百花小岗炉、黄沙坑鑿石炉、筋揸炉、水源炉、永宁炉等冶炼遗址线索,都是我们进一步探索岭南地区古代生铁冶炼及其制钢技术的重点田野调查对象。佛山地区至迟于明末清初存在有煽

炼法制钢工艺。佛山地区是否存在类似罗定的生铁液态炒炼工艺,还有待深入的田野调查取样和研究,为厘清岭南地区古代炒钢工艺的技术内涵及其传播路线等提供更多的科学材料。

广东地区工业现代化发展迅猛,现实需要的工业用地日益增加,冶炼遗址遭受不同程度破坏的趋势很难避免,亟待冶金史与冶金考古工作者尽快在该地区开展缜密而致详的田野调查取样工作,抢救性地保护古代中国的伟大创造和技术发明。

参 考 文 献

- 1 (清)阮元,伍长华等. 两广盐法志·铁志[M]. 35卷. 道光16年刊印.
- 2 李鄂荣,李仲均. 中国历代矿政史概述(上)[J]. 河北地质学院学报,1991,(2): 200—216.
- 3 李鄂荣,李仲均. 中国历代矿政史概述(下)[J]. 河北地质学院学报,1991,(3): 299—305.
- 4 广东省地方史志编纂委员会. 广东省志·文物志[M]. 广州: 广东人民出版社,2007. 133.
- 5 陈大远. 罗定春秋[M]. 广州: 羊城晚报出版社,2012. 91.
- 6 古遗址[A]. 佛山市博物馆. 第三次全国文物普查资料[R]. 2012年12月. 广州: 广东文化厅文物普查资料, 440605—0236.
- 7 黄全胜. 广西贵港地区古代冶铁遗址调查及炉渣研究[M]. 桂林: 漓江出版社,2013. 89—133.
- 8 Tylecote R F. *A history of Metallurgy*[M]. London: Maney Publishing. 2002. 3—146.
- 9 黄全胜,李延祥,陈建立等. 以炉渣分析为主揭示古代炼铁技术的研究与探索[J]. 中国国家博物馆馆刊,2016,(11): 145—153.
- 10 黄全胜,李延祥. 广西桂平罗秀古代冶铁遗址群初步研究[J]. 中国科技史杂志,2012,(4): 485—494.
- 11 北京钢铁工业学院炼铁教研组. 炼铁学(上)[M]. 北京: 中国工业出版社,1960. 33—38.
- 12 黄全胜,李延祥. 广西兴业县高岭古代遗址冶炼技术初步研究[J]. 自然科学史研究,2012,(3): 288—298.
- 13 于永平,黄全胜,李延祥. 广西兴业三处冶铁遗址考察[J]. 有色金属,2010,(3): 163—169.
- 14 Huang Quansheng, Li Yanxiang. A New Discovery: Manganese as a Flux Agent at the Song Dynasty Iron-Smelting Sites in the Xingye County, Guangxi, China [A]. S. Ranganathan (eds). *Metals and Civilizations* [C]. Bangalore: NIAS, 2015. 87—94.
- 15 陈家祥. 钢铁冶金学: 炼钢部分[M]. 北京: 冶金工业出版社,2006. 13—59.
- 16 (清)屈大均. 广东新语[M]. 北京: 中华书局,1985.
- 17 (清)李调元. 南越笔记[M]. 北京: 中华书局,1985. 72—74.
- 18 (明)宋应星. 天工开物[M]. 广州: 广东人民出版社,1976. 358—365.
- 19 潜伟,刘培峰,刘人滋. 明清时期中国钢铁行业组织研究——以山西泽州与广东佛山地区为例[J]. 中国科技史杂志,2011,(增刊): 1—17.
- 20 李仲均. 广东佛山镇冶铁业史[J]. 有色金属,1988,(1): 64—68.
- 21 黄启臣. 明至清前期广东冶铁手工业的高度发展[J]. 岭南文史,2019,(01): 34—42.
- 22 柯俊. 中国大百科全书·矿冶卷[M]. 北京: 中国大百科全书出版社,1984. 755—756.
- 23 韩汝玢. 天马-曲村遗址出土铁器的鉴定[A]. 北京大学考古学系商周组,山西省考古研究所. 天马-曲村 1980—1989[C]. 北京: 科学出版社,2000. 1178—1180.
- 24 北京科技大学冶金史研究室. 西汉南越王墓出土铁器鉴定报告[A]. 广州市文物管理委员会,中国社会科学院考古研究所,广东省博物馆. 西汉南越王墓(上)[C]. 北京: 文物出版社,1991.
- 25 陈建立,黄全胜,李延祥等. 贵州赫章可乐墓葬出土铁器的金相实验研究[A]. 贵州省文物考古研究所. 赫章可乐 2000 年发掘报告[C]. 北京: 文物出版社,2008. 195—206.
- 26 李晓岑,韩汝玢,杨帆. 昆明羊甫头出土金属器的初步研究[A]. 云南省文物考古研究所,昆明市博物馆,官渡

- 区博物馆. 昆明羊甫头墓地[C]. 北京: 科学出版社, 2005. 996—1009.
- 27 陈建立, 杨琮, 张焕新等. 福建武夷山城村汉城出土铁器的金相实验研究[J]. 文物, 2008, (3): 88—96.
- 28 黄全胜, 李延祥, 郑超雄等. 广西战国汉代墓葬出土铁器的科学研究[J]. 南方文物, 2016, (1): 109—114.

Studies of the Administration of the Cast Iron Industry and of the Technologies of Puddling Steel-making in the Lingnan Area in Southern China During the Qing Dynasty

HUANG Quansheng¹ QU Anyi² HUANG Qianxi³ LI Yanxiang² CHEN Jianli⁴

(1. *Guangxi University for Nationalities, Nanning 530006, China*

2. *University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China*

3. *Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China*

4. *Peking University, Beijing 100080, China*)

Abstract The historical records of iron production in Southern Guangxi and Guangdong (the Lingnan area) documented important events about pig iron smelting and casting, puddling steel and production management, during a period of nearly 50 years in late 17th and early 18th centuries. The documents have provided valuable historical materials and clues for researching into traditional Chinese iron and steel making technologies. Based on those materials and clues, we conducted fieldwork at some important sites of furnaces, and analyzed the composition and microstructure of the iron samples collected from the Luoding iron-smelting site by using metallographic microscopy and scanning electron microscope with energy-dispersive spectrometry (SEM-EDS), through which we have found evidences of the puddling steelmaking technology.

Keywords Lingnan area, metallurgical history, Qing dynasty, cast iron smelting, puddling steel