

现代大型高炉 设备及 制造技术

中国冶金设备总公司 编著

冶金工业出版社

现代大型高炉设备 及制造技术

中国冶金设备总公司 编著

冶金工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代大型高炉设备及制造技术/中国冶金设备总公司
编著. —北京: 冶金工业出版社, 1996

ISBN 7-5024-1774-5

I. 现… II. 中… III. 高炉 IV. TF57

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 16494 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

冶金工业出版社印刷厂印刷; 冶金工业出版社出版发行

1996 年 4 月第一版, 1996 年 4 月第一次印刷

787mm×1092mm 1/16; 印张 61; 插页 4; 1557 千字; 1~1550 册

32.00 元

《现代大型高炉设备及制造技术》编委会

名誉主任：李非平 周传典

主任：曹树荣

副主任：林兴 吴其泰

顾问：胡志鸿 沈成孝 徐矩良 崔绍刚

编委：（按姓氏笔划为序）

马殿厚 石永升 包德高 刘应驹 刘鹤年 朱允言 孙庆国 孙实
吴德范 陈仲明 陈华穗 张勤 张镜清 施仕周 胡仁安 胡连德
赵克斌 高铁汉 高景明 徐永洲 章天华 常来吉 智万涛 鲍和

主编：徐永洲 章天华

撰写人：

绪论——徐永洲

第一章——鲍和

第二章——傅兴家 吴景云 戴建霖 刘维民 王裕彬 陈晓青 张志新

第三章——孙实 刘铭 都小溪

第四章——石永升 黄富中 刘国楷 胡忠民

第五章——田忠 马竹梧

第六章——马铁男 黄富中

第七章——朱允言 吴德范 韩友钻

第八章——王作新

第九章——胡连德

第十章——张宜万

第十一章——苏俊贤

第十二章——姜言埠 李光民 邓红

第十三章——叶光亚 金家庆 刘金铎 杨鉴

第十四章——魏旭峰

第十五章——姜创业

第十六章——马竹梧

第十七章——鞠祖荣 贾纲 邱森林 吴景云 刘用德

第十八章——全家庆

第十九章——鲍 和

第二十章——彭华国

第二十一章——张志豪

第二十二章——王 冬 徐世勤 全家庆 姜创业 杨一岭 陈天宝

第二十三章——薛家麟 林松涛

第二十四章——何文汇

第二十五章——张 寅

第二十六章——徐信棠

第二十七章——薛肇煌 徐永洲

主要审稿人：曹树荣 吴其泰 徐矩良 崔绍刚 包德高 陈华穗 徐永洲 章天华

序

——国产化的宝钢二高炉是中国 钢铁发展史上的一座里程碑

党的十一届三中全会后是中国思想大解放的活跃时期，过去一些不敢想的事情，也一齐涌上人们的心头，变成经常谈论的课题，其中重要问题之一就是如何借鉴西方科技经验迅速实现中国钢铁工业的现代化。冶金工业部机关有不少人卷入这个浪潮中。大家奔赴生产厂矿了解现状，到国外的大钢厂考察，研究日本、美国、德国的钢铁工业实现现代化的经验。研究的结论是我们比西方钢铁技术落后了二十年。以炼铁系统为例，解放前中国的生铁是用半机械化、容积 100 m^3 以下的高炉设备冶炼出来的。50年代引进前苏联技术，建设机械化、半自动化、最大容积为 1513 m^3 的高炉；经过消化吸收，我们自力建成几座 $1500\sim 2000\text{ m}^3$ 高炉，具有当时世界先进水平。那时我曾在《人民日报》发表文章说这是我国钢铁发展史中的第一个里程碑。在这以后，由于各种原因，我们的技术没有发展，而国外的技术却突飞猛进，在几个国家出现了容积在 4000 m^3 以上应用计算机的自动化高炉，每天产铁超过一万吨。

我国钢铁工业能否一步跨过二十年，赶上国际先进水平，迅速实现现代化？这个问题困惑着好些人，大家在埋头研究，寻找答案。我曾经同几位炼铁专家和设备制造专家对国内外高炉技术进行过详细的分析。北京钢铁研究总院蔡博是50年代把前苏联高炉技术移植到中国并迅速取得成功的先驱者，他认为工艺设计我们有50年代吸收引进技术的经验和近二十年的实践研究，可以用自力承担起来，关键在设备制造。我们有没有80年代的新机械厂能够造出与现代西方水平相当的设备？这是个大难题，需要认真地进行调研。我同重庆钢铁设计研究院林兴、武汉钢铁公司徐芝应等几位设计和设备制造方面的专家多次交谈，他们与蔡博的意见大同小异。我们都不赞成当时流行的一个说法，即掌握这样先进设备都有困难，根本谈不到制造这样水平的先进设备。

在这以后的两年中发生了两件重大事情，促使我们进一步坚定了要大干一番的决心。

一件事情。高炉的部分设备在单机设计和试制上取得成功。如秦皇岛冶金机械阀门厂、鞍山钢铁公司、北京钢铁研究总院、冶金部建筑研究总院协作试制的新型热风阀；北京科技大学、西安冶金机械厂、攀枝花钢铁公司协作试制的矮身液压泥炮，吸取了日本、德国几个国家的长处，熔合成中国式的新型泥炮，得到国外人士的好评；还有新型风口、热烧结矿振动筛等，这些试制的设备都安装在生产的炉子上，经受了考验。我们想这几种较复杂的设备我们能制造出来，其他的设备也一定可以造出来。

另一件事情。在一次与外商谈判中偶然谈论到，宝钢一号高炉采用钟阀式炉顶，而这时卢森堡PW公司发明的无料钟炉顶比较先进，我们的几座炉子打算采用，于是就同卢森堡这家公司的总经理举行谈判，我们要求在价格上作出让步。这位总经理说他们只出技术和图纸，大部分设备是委托别家制造的，除非改由中国自己制造，可以大大降低价格。我们对自己的冶金机械厂能否制造这种最先进的装备的确没有把握，就委托他们到西安冶金机械厂考察。第二次会谈时，这位总经理高兴地说：“考察组去过了，他们认为西安厂的加工机床和管理水平可以制造出合格的无料钟炉顶设备”。后来试制的结果正如他们的论断那样，很成功！从而打消我们的疑虑，鼓舞了士气。我在以后多次会议上宣传过这样一个观点：在我国，西安冶金机械厂在加工机具和制造水平上只能算作国内普通水平，而机械部门的重型机械厂和军工部门的制造厂的装备都比西安冶金机械厂好，西安厂能够制造出先进装备，重机厂和军工厂就能制造要求更高的设备。我们总结时认为，中国的钢铁工业现代化是有基础的，是大有希望的！

就在这个时候，在中国冶金设备总公司的精心策划和周密组织下，衡阳冶金机械厂和大连重型机械厂都试制出来具有当时国际先进水平的小方坯连铸机，并且投产成功，取得新的经验。

在上述背景下，1983年就有一些人主张宝钢二号高炉由自力建设。中国冶金设备总公司的领导班子又想干又害怕。想干，经过三年的消化吸收引进技术，已经看出干好的可能性很大；设计院计算，自己干比外国人干可以节约投资20%，应该自己干。既然有这个能力，就该争这口气！害怕，这样投资巨大、世界先进、全国瞩目的大工程，一旦有什么闪失，损失太大，责任太重！再加上宝钢提出要象新日铁总承包一号高炉那样，由冶金设备总公司对二号高炉设备实行总承包。当时有些不明情况而又对此十分关心的同志，疑虑重重，有人说我国原本就那样的水平，能一步登天吗？的确，从设备设计到制造，从技术到经济实行总承包，确实责任大、难度大、风险大。一项全新的大型工程要说没有风险，那是不可能的，这谁都知道，直接去承担这项责任和风险，没有足够的勇气和胆量，没有对钢铁工业现代化的高度责任感是难以下这么大的决心的。冶金部党组几经研究，逐渐了解情况，增强信心，决定支持这一创举，希望努力打好这一仗，为钢铁工业的现代化闯出一条新路来。于是，由中国冶金设备总公司牵头与重庆钢铁设计研究院组成了联合承包体，对宝钢二高炉的设备和工艺钢结构的设计、制造和成套供应实行总承包。

这项工程的确浩大，高炉容积4063m³，设备总重量3.5万吨，总的要求技术水平不低于引进的一号高炉，还要有所改进提高（例如把喷油改为喷煤、料钟式炉顶改为无料钟炉顶等）。浩大的工程需要有相应的组织工作，总公司组织了以重庆钢铁设计院为主的7个设计院、所，科研单位担任设计工作，百余制造厂参加设备制造和供应。经过对逐个项目的深入分析，有39个制造技术难题需要科研攻关。举其中一例，用500MPa强度级、厚度30mm~90mm的BB-502钢板制造炉体，从成型、加工、焊接到热处理，都是过去从未干过的，而且制造工艺十分复杂。

1986年联合承包体正式同宝钢签订了总承包合同，进入了设计、课题攻关和设备制造的实施阶段。他们全体动员，全力以赴，历经五年，艰辛备尝，在宝钢和各兄弟院所、制造厂的大力支持下，出色地完成了设计、制造和成套供应任务。在3.5万吨设备中，国内自制占91.66%（其后的三号高炉自制率达95%）。有少量的新技术设备和配套件从国外引进，这在发达国家也是常事，无损国产化这一创举。

1991年6月二号高炉投产。这年冬天我去看了。厂长告诉我，总的说来，投产要比一号高炉顺利，这使我几年来心里悬着的一块石头落下了地。现在宝钢二号高炉生产已经四年多了。感谢宝钢及时给我提供了二号高炉同一号高炉投产后同一时期生产指标的对比资料。从产量、利用系数、焦比、能耗等指标来看，四年中逐年的指标，二号高炉都比一号高炉好。我们有根据作出如下结论：中国高炉从50年代的1513m³到80年代的4063m³，一举跨过三十年，已经立足于国内，赶上了国际先进水平。应该说这是一项伟大的成就，值得我们为之欢呼！

在实现二高炉国产化过程中，也出过一些问题，走过一些弯路，如冷却板铸造质量赶不上国外标准，除尘系统投产初期有缺陷，热风阀采用了新材质，寿命不如原来的好等，我认为这样大的工程出点局部性毛病是难以避免的。

我之所以把宝钢二号高炉称为里程碑有着两层含义：

一层含义。在高炉技术上，50、60年代我们能够自力建设1500~2000m³高炉，那是发展的第一个里程碑。时隔30年，我们主要靠自己力量建成的4063m³高炉，从投产、达产以至实现高产，都已进入世界先进行列，是又一次的飞跃，应该称之为技术发展的第二个里程碑。

又一层含义。是就整个钢铁工业技术说的，日本钢铁工业现代化在50、60年代取得突破性进展，是从自建高炉开始的，十年之后才扩展到炼钢和轧钢，也实现了自建。所以把现代化高炉的建成看作是整个钢铁工业向现代化迈进的里程碑。这里我想多讲几句，70年代末、80年代初的研究探讨，使我们这些钢铁从业人员有了新的认识和觉醒。一项新技术的诞生是经研究人员无数次思考和实验才取得成功的，它最终转化为生产力，必须落实到大生产的工艺和装备上，而工艺和装备是互为依存的两个技术内容，装备要为工艺服务，满足工艺提出的要求，它又隐含着工艺，所以新技术最终要落实到新设备上。能够制造出合格的新设备，这项新技术、新工艺、新设备现代化的总目标也就实现了。

根据这一新认识，我们研究我国钢铁工业技术发展史，发现有两大弊端：一个是我们注重新材料的研究，解决国防军工的要求，作出了重大贡献，这是正确的；但忽视了新工艺、新设备的研究，其后果是严重的，设计院和研究院有一点工艺设备研究力量，但很弱小，这不能说不是一个偏差。当时的冶金机修厂只负担制作备品备件的任务，不制造设备，所以工艺和设备研究都没有发展起来，影响了技术的进步。另一个弊端，我曾多次评论过，我们的计划经济体制把工艺研究和设备研究、设备制造分割开来，就注定了新技术的难产。如前所述，只有两者紧密结合，才会有新技术的出现。道理非常简单，先有了新工艺的设想和实验，进而设计和试制新设备，以满足工艺的要求，经过几次反复，才能形成成熟的新技术。试问设

备制造单位不懂工艺，又和工艺研究单位脱节，如何能制出新的设备？80年代初不少人有了觉悟，从各方面采取措施，以纠正上述的弊端：诸如设计院改成设计研究院，增加或加强工艺和设备的研究；钢铁研究院加强专业工艺研究的力量；部里单独设立设备、自动化和环保研究所以及热能研究所；组成冶金设备总公司，把十几个制造备件机修厂改成可制造成套设备的冶金机械厂。此外，在同部外为冶金服务的机械厂的协作关系上也有了改进，在国务院重大技术装备办公室的领导下，组成了以用户为主、以重点工程为依托的宝钢二期设备和大型露天矿设备研制协作组织。正是这些举措，在80年代的消化吸收引进技术工作中起了很大的作用：没有这些举措，很难有力量建设成功宝钢二号高炉。日本搞钢铁现代化，用五年时间突破了高炉，再用五年时间突破炼钢，又继续用五年时间突破轧钢，全盘立足于国内。韩国靠自己力量建设光阳钢铁厂，也走在了我们的前面。我们已经用同样时间突破高炉，说明我们技术力量并不弱。我们既要看到自己的进步，也要看到前面的路还很艰巨。我们应该继续前进，加强组织，不要让这个好形势中途夭折。在继高炉自建成功之后，十年内使炼钢、轧钢也立足国内。所以在钢铁工业现代化的进程中，宝钢二号高炉开了先河，它是在这个意义上的里程碑。

高炉自建的目标已经达到，十年内炼钢、轧钢的自建目标能否达到？我认为完全可能，关键是要抓好两条，一条是各级领导要有认识、胆量和决心，以及对冶金工业现代化、国产化的时代感和责任感，一如既往地狠抓下去；一条是要按二号高炉的经验，把方方面面的力量组织起来认真去干。我原来设想，二高炉1991投产10年后，按计算应该到2000年，我国钢铁工业的装备，从炼铁，炼钢到轧钢，能够基本实现国产化，同时，我们还将向外输出技术。为了达到这个目标，这本书的出版就有着其特定的时代意义。

这部书约150万字，是一部巨著，图表很多，堪称图文并茂，参加编写的单位有19个之多，可谓集思广益。作者有50多人，他们都是直接从事这个项目的设计和制造的专家，有着丰富的实践经验和深刻的体会，其成果已在宝钢二号高炉投产四年来出色地表现出来。现在他们用了一年多的时间，把自己的经验总结成书，是非常有价值的。感谢本书编著者又作了一件大好事。

我相信这本书的发行，会对炼铁建设有直接的帮助，对炼钢、轧钢建设也会有所启发，所以它一定会受到广大读者的欢迎。

周传典

一九九五年六月五日

前 言

我国是炼铁生产的大国，并一直采用传统的高炉冶炼工艺。根据国民经济的发展和市场需求，我国的生铁产量还将进一步提高，主要还要依靠高炉生产。因此，在未来的年代里，高炉的新建和技术改造，在我国冶金工业的发展中仍将具有重要地位。

从本世纪 60、70 年代开始，以日本为代表的工业发达国家，把电子技术和一系列的科技成果应用于高炉炼铁生产，开发了许多新型的高炉设备和材料，使高炉在大型化、自动化、长寿化方面取得了巨大的进展。我国在 70 年代末期开始引进日本技术，在上海新建宝山钢铁基地。1985 年 9 月，具有当代国际水平的宝钢 1 号高炉（有效容积 4063m^3 ）建成投产，开始了我国炼铁工业迈入现代化的新阶段。从此，我国炼铁战线上的广大科技工作者、工人群众和干部为高炉建设和炼铁生产的现代化和新一代高炉设备的国产化倾注了大量心血。经过 6 年努力，以国内设计和国内制造设备为主的宝钢 2 号高炉（ 4063m^3 ）于 1991 年 6 月出铁。该高炉的工艺技术和装备水平达到了世界先进水平，而且达产时间快，运行情况良好。1994 年 9 月，国产化程度更高的宝钢 3 号高炉（ 4350m^3 ）顺利投产。在这期间，武钢、马钢、首钢等企业也立足国内，相继建成同等水平的 2500m^3 至 3200m^3 大型高炉，从而宣告了大型现代化高炉国产化的成功。与此同时，不少先进的新工艺、新设备也成功地推广应用于一批中型高炉。

现代化大中型高炉的建成，使我国炼铁工业实现了高产、优质、低耗，并延长了高炉寿命，提高了劳动生产率，改善了劳动条件和环境保护。应当指出，在实现国产化过程中，由于经验不足和技术水平的限制，我们在个别设备的设计和制造方面曾走过一些弯路，和国外最先进水平比较还有一定差距。

宝钢 2 号高炉以及其他几座大型高炉建成投产的实践证明，设备国产化是我国今后高炉建设和技术改造的方向，有必要把这方面的经验和科技成果系统地总结出来加以推广。于是，根据冶金工业部原副部长李非平、周传典同志倡议，并在他们的指导、支持下，组织曾经从事宝钢 2 号高炉设计、设备制造与成套供应的中国冶金设备总公司、重庆钢铁设计研究院以及有关科研设计单位、主要制造厂的有关领导、技术专家、实际工作者，成立了本书编委会，用了一年多时间，撰写成此书。可以说，本书是多年来奋战在大型现代化高炉设备国产化战线上广大工人、干部、科技工作者、管理人员集体智慧的结晶，是实践经验的总结，是科技进步与高炉建设相结合的成果，是设计、制造、施工和生产四结合的产物。

参加本书编写的单位有中国冶金设备总公司、重庆钢铁设计研究院、中国冶金设备南京公司、苏州冶金机械厂、沈阳矿山机器厂、西安冶金机械厂、武汉冶金设备制造公司、北京冶金设备研究院、沈阳有色冶金机械总厂、北京科技大学、嘉兴冶金机械厂、大连重型机器

厂、鞍钢机械制造公司、渤海造船厂、秦皇岛冶金机械阀门总厂、石家庄阀门一厂股份有限公司、冶金部自动化研究院、扬州冶金机械厂和冶金部建筑研究总院等 19 个单位。上述各单位的领导为撰写本书给予了很大支持。有关单位为本书部分章节提供了素材、考察报告、技术数据和引证资料等。许多同志参加了本书有关章节的审稿和专题审查工作。对此一并致谢。

由于水平所限，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

中国冶金设备总公司

1995 年 5 月

目 录

绪 论	1
1 原料储存和筛分设备	19
1.1 概 述	19
1.2 原燃料储槽	20
1.3 槽下设备	20
1.4 电动给料机	24
1.5 烧结矿振动筛	29
1.6 焦炭振动筛	37
1.7 称量装置	41
2 原料输送和上料设备	46
2.1 概 述	46
2.2 高炉上料设备	47
2.3 原料输送设备	70
2.4 胶带输送机主要基础部件制造	82
3 无料钟炉顶装料设备	91
3.1 炉顶装料设备的发展概况及特点	91
3.2 无料钟炉顶装料设备的主要规格、性能	96
3.3 无料钟炉顶装料设备的结构	98
3.4 无料钟炉顶装料设备制造技术	135
3.5 无料钟炉顶维修更换装置	143
4 高炉炉体结构	146
4.1 概 述	146
4.2 炉壳及炉体框架的结构材料	152
4.3 高炉炉壳的制造技术	153
4.4 炉体框架的制造	187
4.5 炉喉钢砖和保护板的制造	194
4.6 高炉炉体内衬	195
5 炉体周围检测设备	204
5.1 概 述	204
5.2 检测设备应用概况	204
5.3 高炉炉身煤气取样机	205
5.4 炉喉径向探测器	220
5.5 料面检测装置	222
5.6 炉顶料面红外测温热图像仪	225
5.7 炉身其他炉况检测设备	230
5.8 炉衬烧损检测装置	233
5.9 炉身静压力检测装置	235

5.10 各风口热风流量分布检测	236
5.11 风口破损检测	237
5.12 风口其他检测	238
5.13 煤粉喷吹量检测	239
5.14 铁水温度检测	242
5.15 炉顶煤气成分分析	243
6 炉体冷却设备	245
6.1 冷却设备对提高高炉寿命的重要作用	245
6.2 高炉冷却结构形式及冷却系统	245
6.3 高炉冷却区域与冷却设备的选择	255
6.4 冷却设备在炉壳上的固定和密封	259
6.5 纯铜冷却板	262
6.6 球墨铸铁冷却壁	267
7 出铁场机械设备	275
7.1 概 述	275
7.2 液压泥炮	275
7.3 开铁口机	299
7.4 残铁开口机简介	316
7.5 悬臂起重机	316
7.6 摆动流嘴	328
7.7 移盖机	333
7.8 环形轨道桥式起重机	335
8 渣铁沟浇注设备	339
8.1 概 述	339
8.2 浇注料使用情况及其特点	340
8.3 耐火浇注料的浇注设备和工艺	341
8.4 浇注设备制造技术	342
9 混铁车设备	359
9.1 概 述	359
9.2 混铁车用途及工艺流程	359
9.3 混铁车的性能特点	360
9.4 混铁车结构特点	362
9.5 混铁车的设计和制造	364
9.6 混铁车辅助设备	366
10 高炉鼓风设备	368
10.1 概 述	368
10.2 高炉鼓风机的基本技术要求及其特性曲线	369
10.3 风机与炉容配合设计计算	370
10.4 宝钢高炉鼓风机简介	374
10.5 高炉鼓风机的驱动方式	376
10.6 鼓风脱湿设备	377
10.7 富氧鼓风	381
10.8 附属设备	382

11 送风管路及相关设备	384
11.1 热风围管	384
11.2 送风支管	385
11.3 直吹管	386
11.4 风口	390
11.5 风口中套	402
11.6 风口大套	404
11.7 风口冷却及检漏	406
11.8 装卸风口机	407
12 热风炉及附属设备	410
12.1 概 述	410
12.2 热风炉结构和特点	410
12.3 热风炉工作	413
12.4 热风炉炉壳的制造	415
12.5 热风炉炉篦子、横梁、支柱的制造技术	427
12.6 燃烧器	435
12.7 余热回收装置	442
13 煤气除尘清洗设备	445
13.1 概 述	445
13.2 煤气上升下降管	453
13.3 重力除尘器和一二级脱水器	462
13.4 可调文氏管	467
13.5 干式电除尘器	472
13.6 干式布袋除尘器	481
13.7 除尘系统阀门设备装置	488
13.8 煤气灰搅拌机	489
14 阀门设备	490
14.1 概 述	490
14.2 阀门的基本特点及要求	491
14.3 阀门的结构和工艺特性	491
14.4 阀门传动装置	543
14.5 阀门检验	544
15 给排水设备	547
15.1 概 述	547
15.2 宝钢高炉供排水的特点	552
15.3 给排水设施的设备	553
16 高炉自动化控制系统	556
16.1 概 述	556
16.2 仪表控制系统	558
16.3 电气控制系统	573
16.4 过程计算机系统	589
16.5 高炉数学模型及其实践	594
16.6 电信系统	608

16.7	人工智能在高炉中的应用	613
16.8	近年来国内建设的大中型现代高炉的三电自动化系统	622
16.9	高炉自动化新进展	644
17	水渣处理设备	649
17.1	概 述	649
17.2	水渣处理设备的选型	649
17.3	转鼓脱水法设备的工作原理和特点	655
17.4	转鼓脱水法水渣处理系统设备结构	656
17.5	转鼓脱水法水渣处理系统主要设备制造技术	669
17.6	转鼓脱水法水渣处理的应用	676
18	炉顶余压发电装置	677
18.1	概 述	677
18.2	TRT 机型的选择	677
18.3	余压发电装置系统组成	679
18.4	宝钢 1、2 号高炉 TRT 选型	683
18.5	宝钢 1、2 号高炉 TRT 设备型式	684
18.6	余压透平装置的控制	690
19	炮泥制备设备	697
19.1	概 述	697
19.2	焦粉贮存、粉碎设施	699
19.3	配料混合称量设施	701
19.4	单斗提升机	702
19.5	碾泥机	703
19.6	圆盘给料机	706
19.7	成型机	707
19.8	自动包装机	708
19.9	焦油设备	709
20	煤粉喷吹设备	710
20.1	概 述	710
20.2	喷吹煤粉工艺	711
20.3	喷吹用煤的选择	718
20.4	喷煤设备的功能和特点	719
20.5	宝钢 2 号高炉喷煤的主要设备	731
20.6	安全喷吹烟煤	743
21	高炉供电装置	749
21.1	高炉电气设备的基本要求	749
21.2	车间供电系统	749
21.3	高炉炉顶余压发电供电及其自动调节系统	759
21.4	变压变频 (VVVF) 装置	761
21.5	电气车间防火装置	767
21.6	高炉电气设备制造技术	769
22	环境保护设备	791
22.1	概 述	791

22.2 高炉生产的主要污染物及其危害	791
22.3 高炉生产的主要污染源及其特征	792
22.4 高炉生产的污染控制	794
22.5 环境保护设备	794
22.6 对宝钢高炉车间环境保护的评述	821
23 高炉炉体结构应力测定	823
23.1 概 述	823
23.2 测试目的与项目	823
23.3 测试的环境条件	824
23.4 炉壳表面温度测量	824
23.5 炉壳内侧及炉衬温度的测量	825
23.6 炉体上涨和径向膨胀的位移测量	825
23.7 高炉炉壳应力测试	826
23.8 高炉炉壳内压力测定	828
23.9 高炉炉体安装期炉壳应力测试	830
23.10 数据采集和数据处理	831
23.11 测点布置	833
23.12 测试结果	834
23.13 结 论	837
24 大型高炉炉壳应力计算	838
24.1 高炉炉壳应力计算	838
24.2 高炉炉壳整体应力计算	840
24.3 高炉炉壳局部应力计算	846
24.4 宝钢2号高炉炉壳应力计算结果	853
24.5 高炉炉壳整体应力计算结果分析	855
24.6 高炉炉壳整体应力的测定	859
24.7 高炉炉壳温度应力	861
25 高炉炉壳用钢及其焊接技术	864
25.1 高炉炉壳用钢的发展	864
25.2 炉壳用钢的化学成分和基本性能	864
25.3 高炉炉壳用钢的基本焊接性能	871
25.4 炉壳用钢的其他加工性能	886
25.5 炉壳用钢的基本焊接工艺	889
26 高炉设备及钢结构涂装技术	902
26.1 概 述	902
26.2 涂装设计	903
26.3 涂装前钢材表面处理及其评定标准	912
26.4 涂装质量管理及检测	918
26.5 涂装施工安全技术	933
27 设备出厂包装技术	938
27.1 概 述	938
27.2 设备出厂包装的一般技术要求	941
27.3 包装形式和包装实例	947

27.4 包装要求	951
27.5 设备装箱前的交付清点	954
27.6 包装箱面标志和随机文件	954
27.7 结束语	956
后 记	957