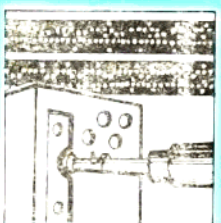
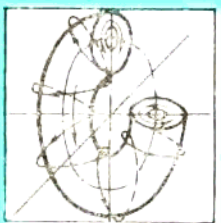


高等学校试用教材



氧气转炉 炼钢设备

东北重型机械学院谭牧田 编



机械工业出版社

高等学校试用教材

氧气转炉炼钢设备

东北重型机械学院谭牧田 编

12-25



机械工业出版社

B 040673

北京图书馆
藏書

氧气转炉炼钢设备

东北重型机械学院 谭牧田 编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ • 印张 $44 \frac{1}{4}$ • 字数 1094 千字

1983 年 7 月北京第一版 • 1983 年 7 月北京第一次印刷

印数 0,001—5,200 • 定价 4.55 元

76

统一书号: 15033 • 5427

前 言

本书系根据一九七八年在天津召开的“高等学校一机部对口专业座谈会”精神编写的全国试用教材。

全书广泛收集了国内、外有关资料,概括反映了当前氧气转炉炼钢设备发展的现状及我国科研、设计、生产方面的成果和经验。较全面地阐述了氧气转炉炼钢各种设备的结构、技术性能、设计和计算方法。为了有助于使炉壳、托圈的设计工作从凭经验的“类比法”发展到较完善、系统的强度理论计算,本书用相当篇幅对炉壳、托圈的强度设计及热应力等问题从弹性理论方面做了阐述和探讨。同时考虑到电子计算机的应用,书中对有关计算的数学模型做了相应阐述,书末附录有供 TQ-16 计算机使用的有关程序。

本书除作为高等院校冶金设备专业、冶金机械专业的教材外,亦可供有关科研、设计、生产单位的研究人员和工程技术人员参考和使用。

本书由东北重型机械学院谭牧田编著。

本书第五章、第六章、第七章由浙江大学力学系副教授何福保、重庆大学基础科学系张汝和、北京钢铁设计研究总院吴延康审稿。其它各章由北京钢铁设计研究总院高级工程师张炎生、工程师吴延康审稿。

参加本书审稿的还有上海机电设计研究院高级工程师黄振青、西安重型机械研究所工程师方正等,以及上海冶金设计研究院工程师虞和祥。本书责任编辑是一机部教编室郝育生。

本书在编写过程中还得到有关设计院、研究所、高等院校及工厂等单位 and 同志们的支持和帮助,在书稿整理和插图绘制中得到东北重型机械学院有关同志的协助,在此一并表示深切、诚挚的谢意!

由于编者水平有限,再加时间仓促,错误不当之处,热忱希望读者批评、指正!

一九八二年三月

目 录

绪论	7	§ 4-6 倾动力矩在转炉倾动机械设计中的应用	220
第一章 氧气顶吹转炉炉体	20	§ 4-7 应用电子计算机计算转炉铁水重心及倾动力矩	225
§ 1-1 炉体结构	20	第五章 炉壳设计计算	231
§ 1-2 炉壳结构及其基本尺寸与转炉容量之间的关系	23	§ 5-1 壳体理论基本方程	231
§ 1-3 炉壳负荷特点、变形情况和提高寿命的措施	25	§ 5-2 用无矩理论设计炉身圆筒壳	234
§ 1-4 炉壳材料及其选择	33	§ 5-3 无矩理论设计端盖旋转壳	238
§ 1-5 水冷炉口的结构及计算	37	§ 5-4 承受液态金属的炉身圆筒壳与端盖旋转壳相连接时用无矩理论计算的内力	242
§ 1-6 出钢门	41	§ 5-5 无矩理论计算承受局部载荷的炉壳	243
§ 1-7 炉壳制造及其技术条件和要求	42	§ 5-6 用有矩理论设计炉壳	249
第二章 炉体支承系统	44	§ 5-7 有矩理论设计炉身圆筒壳	249
§ 2-1 托圈	44	§ 5-8 炉壳端盖旋转壳轴对称问题的有矩理论	256
§ 2-2 耳轴	58	§ 5-9 旋转壳有矩理论近似解基本方程的应用	260
§ 2-3 炉体与托圈的连接装置	77	§ 5-10 不等厚炉壳的连接及炉口加强环问题	273
§ 2-4 耳轴轴承装置	92	§ 5-11 边界效应的概念	277
第三章 倾动机械	105	§ 5-12 炉壳厚度计算经验公式和简化计算公式	278
§ 3-1 300 吨转炉的倾动机械	106	第六章 炉壳热应力等问题	285
§ 3-2 F-2 厂 120 吨转炉的倾动机械	108	§ 6-1 热应力的概念	285
§ 3-3 倾动机械的几种基本结构和配置型式	110	§ 6-2 具有轴对称热应力时的旋转壳基本方程	285
§ 3-4 倾动机械的驱动和传动型式	120	§ 6-3 具有热应力炉壳的二阶微分方程和内力方程	288
§ 3-5 倾动机械的扭矩缓冲平衡装置及主联轴器	125	§ 6-4 已知两表面温度分布的圆筒壳内力方程	290
§ 3-6 倾动机械的焊接结构零件及耳轴与悬挂大齿轮的锥套无键连接	130	§ 6-5 具有特殊温度分布的圆筒壳内力方程	292
§ 3-7 倾动机械基本参数的确定与电动机、制动器的选择	140	§ 6-6 炉身圆筒壳热应力简化计算及端面边界效应	294
§ 3-8 转炉倾动系统的扭振及倾动机械柔性缓冲装置参数的确定	156	§ 6-7 炉底球壳的热应力简化计算	296
第四章 转炉倾动力矩计算	167		
§ 4-1 转炉炉腔内型的选择和计算	167		
§ 4-2 转炉空炉重量及重心位置的计算	176		
§ 4-3 炉内液体的重量和重心的计算	184		
§ 4-4 转炉倾动力矩计算	212		
§ 4-5 最佳耳轴位置的确定	216		

§ 6-8 炉衬热膨胀引起的炉壳载荷.....298	§ 9-5 50 吨转炉副枪升降小车及其提 升卷扬装置.....497
§ 6-9 炉衬热膨胀压力在炉壳上引起 的热膨胀内力及变形.....300	§ 9-6 副枪测试头.....507
§ 6-10 炉壳的热冲击问题.....322	§ 9-7 副枪小车导轨.....508
§ 6-11 炉壳热疲劳问题.....324	§ 9-8 副枪装置的辅助机械.....509
§ 6-12 炉壳蠕变问题.....325	§ 9-9 测试副枪设计应考虑的问题和 要求.....511
§ 6-13 应用断裂力学观点研究炉壳.....330	§ 9-10 副枪设计讨论.....512
§ 6-14 炉壳设计讨论.....335	第十章 散状料系统设备.....517
第七章 托圈的理论计算.....340	§ 10-1 料斗及称量料斗.....517
§ 7-1 托圈外载荷的简化处理.....340	§ 10-2 电子秤.....524
§ 7-2 封闭圆环实体理论计算的基本 公式.....342	§ 10-3 振动输送机.....528
§ 7-3 托圈受垂直于环平面载荷作用时 的内力计算.....344	§ 10-4 带式输送机.....542
§ 7-4 托圈在环平面内载荷作用时的 内力计算.....349	§ 10-5 国外某厂 150 吨转炉散状料及 铁合金系统.....553
§ 7-5 托圈实体理论计算的机械应力.....357	第十一章 氧气顶吹转炉车间辅助 机械设备.....557
§ 7-6 托圈按圆环实体理论设计实例.....360	§ 11-1 混铁炉及混铁水车.....557
§ 7-7 托圈薄壁杆理论的几个基本概 念及薄壁与实体理论计算托圈 的异同.....366	§ 11-2 加废钢设备.....572
§ 7-8 环形薄壁托圈承受垂直载荷时 的内力计算.....367	§ 11-3 扒渣机.....574
§ 7-9 环形薄壁托圈的应力计算.....377	§ 11-4 炉底车.....580
§ 7-10 环形薄壁托圈强度计算实例.....378	§ 11-5 拆炉机.....584
§ 7-11 托圈的刚度设计——变形计算.....397	§ 11-6 修炉机.....599
§ 7-12 托圈的热应力.....400	§ 11-7 补炉机.....622
§ 7-13 托圈连接剪架及热装螺栓计算.....405	第十二章 氧气转炉炉气净化 处理设备.....625
第八章 吹氧装置.....414	§ 12-1 活动烟罩和固定烟罩.....627
§ 8-1 氧枪.....414	§ 12-2 液力偶合器.....637
§ 8-2 氧枪设计计算.....428	§ 12-3 转炉炉气净化系统风机.....639
§ 8-3 三孔枪头的加工制造和氧枪装配.....439	第十三章 氧气底吹转炉.....645
§ 8-4 氧枪设计讨论.....443	§ 13-1 国外氧气底吹转炉的几种生产 方法及氧气底吹转炉的特点和 存在的问题.....645
§ 8-5 氧枪升降装置.....447	§ 13-2 氧气底吹转炉炉体.....648
§ 8-6 换枪装置.....460	§ 13-3 氧气底吹转炉的托圈与耳轴.....651
§ 8-7 氧枪的辅助装置.....469	§ 13-4 氧气底吹转炉的炉底结构.....654
§ 8-8 氧枪运送装置.....476	§ 13-5 氧枪结构及其设计.....666
第九章 测试副枪装置.....482	§ 13-6 氧气底吹转炉管路系统.....675
§ 9-1 两种类型的副枪装置及其组成.....482	§ 13-7 氧气底吹转炉石灰粉喷吹系统 概述.....681
§ 9-2 测试副枪枪体.....484	§ 13-8 烟气除尘和收集系统概述.....684
§ 9-3 测头存贮及给头装置.....486	附录.....687
§ 9-4 300 吨转炉副枪升降小车、升降 传动装置及导轨旋转机构.....494	附录 1 顶炉倾动力矩 TQ-16 电子 计算机程序.....687
	附录 2 计算圆柱齿轮 GD^2 图表.....699

绪 论

氧气顶吹转炉炼钢又称 LD 炼钢法, 1949 年 6 月由奥地利的 Vöest-Alpine 联合公司试验成功, 并在 1952 年和 1953 年先后在其所属林茨 (Linz) 和道纳维茨 (Donawitz) 两钢厂投入工业生产 (故取名 LD 法)。这种炼钢法目前已在国内外的炼钢生产中充分显示了重要作用。

过去, 世界钢产量中平炉钢占绝对优势, 而现在却被氧气顶吹转炉钢所取代。近几年来, 世界几个主要产钢国家的氧气顶吹转炉钢产量几乎都占总钢产量的 50% 以上, 而日本则稳定在 80% 左右。1974 年世界氧气顶吹转炉钢产量已超过总钢产量的一半, 约 60% 左右。1976 年世界氧气顶吹转炉钢产量为 4.46 亿吨, 占总产量的 70% 左右。

据 1977 年统计, 国外氧气顶吹转炉有 450 多座, 最多的是日本, 有 94 座。最大的转炉容量是西德奥古斯特蒂森钢铁公司的两座 350 吨转炉。据报道, 苏联已在捷尔仁斯基钢厂建造两座 400 吨转炉。

氧气顶吹转炉炼钢之所以能够这样迅速的发展, 其原因主要在于和其它炼钢方法相比, 它具有一系列的优越性。其中, 较为突出的几点综述如下:

1. 生产效率高

一座容量为 100 吨的氧气顶吹转炉连续生产 24 小时, 钢产量可达 4000~5000 吨。而同容量的平炉一昼夜只能炼得 300~400 吨钢, 平均小时产量相差十几倍。如果按年产 500 万吨钢计算, 采用平炉炼钢, 即使在平炉容量为 500~900 吨的情况下, 仍需用 6~10 座平炉 (不吹氧时); 而采用转炉时, 一般只要安装三座 220~250 吨的转炉, 吹炼两座即可。另外, 从冶炼一炉钢所需的时间上看, 与平炉、电炉等炼钢方法相比, 要短得多。平炉即使采用吹氧强化, 也无法与其相比。电弧炉在采用超高功率、吹氧强化的情况下, 可将冶炼时间缩短到 1~1.5 小时, 但炉容量为 400 吨的氧气顶吹转炉在采用 7 孔或 8 孔氧枪的情况下, 仅在 12 分钟之内即可吹炼一炉钢, 两者相比, 电炉要多用 6~8 倍以上的冶炼时间。

2. 投资少, 成本低

建氧气顶吹转炉车间所需的基本建设的单位投资, 比相同规模的平炉车间节省 30% 左右。即使包括相应辅助车间 (如制氧车间等) 在内的投资, 仍然比平炉车间要节省。

此外, 投产后的经营管理费用, 也比平炉车间节省。据有些资料报导, 利用转炉废气余热发电, 其发电量可以补偿制氧车间电力消耗而有余。

3. 原料适应性强

氧气顶吹转炉对原料情况的要求, 与空气转炉相比并不那么严格, 可以和平炉、电弧炉一样熔炼各种成分的铁水, 所不同的是平炉和电弧炉可以熔炼 100% 的废钢。而氧气顶吹转炉在现在的操作工艺条件下, 一般只能使用 (25~30)% 的废钢料。

4. 冶炼的钢质量好, 品种多

在初期的氧气顶吹转炉中, 一般只能生产低碳沸腾钢。而现在, 所冶炼的钢种不但包括全部平炉钢, 而且还包括相当大的一部分电弧炉钢。而钢的质量与平炉钢基本相同或略优 (如

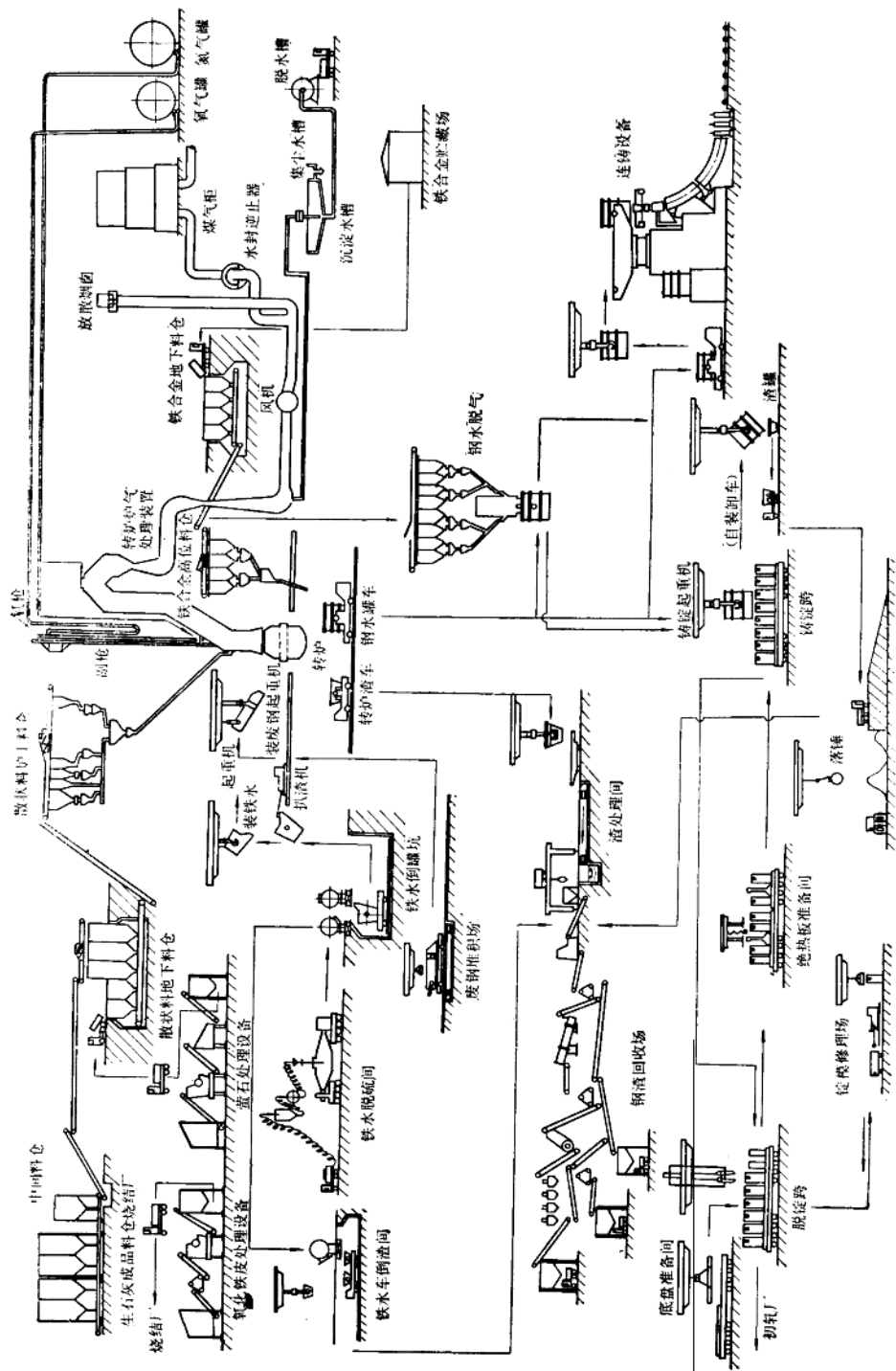


图10-1 氧气顶吹转炉生产工艺流程图

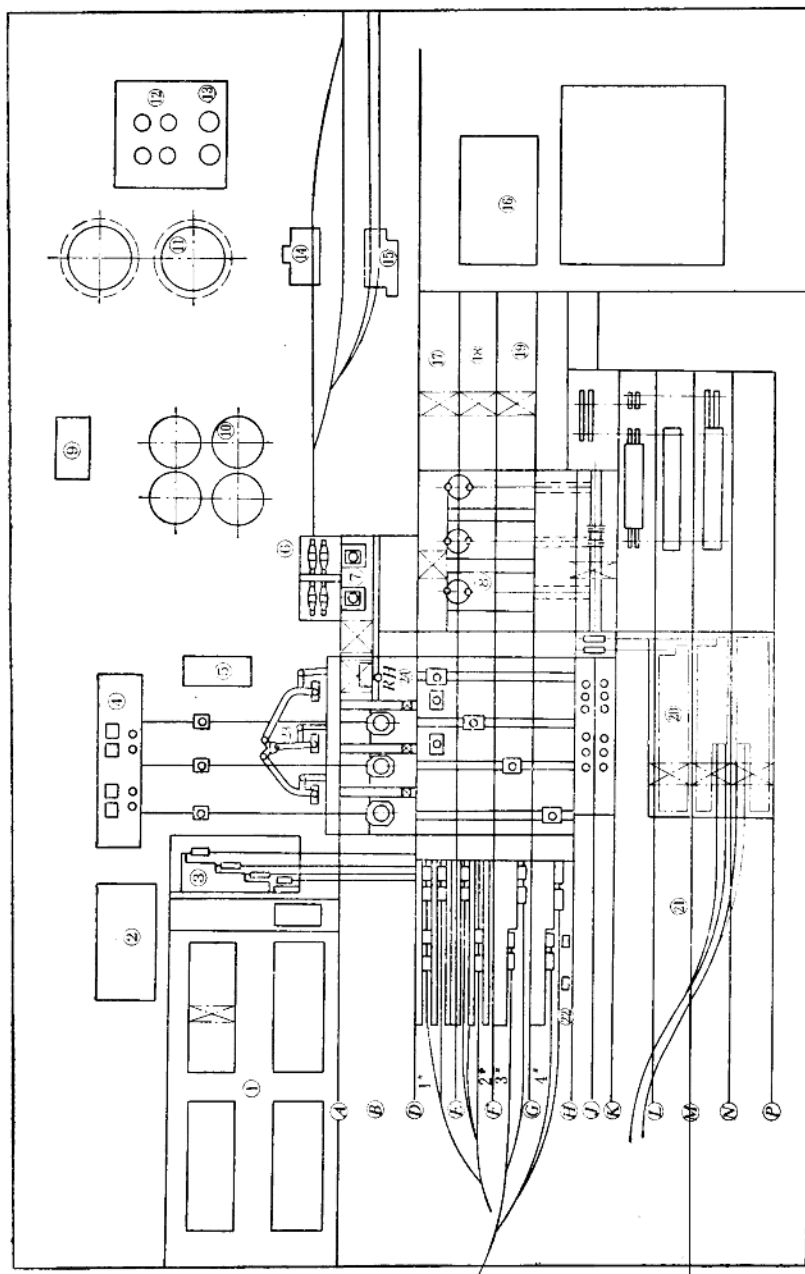


图2 某厂300吨转炉车间平面布置图

A—B 加料跨 B—D 转炉跨 D—E1* 浇铸跨 E—F2* 浇铸跨 F—G3* 浇铸跨 G—H4* 浇铸跨 H—K 钢罐修跨 1—废钢堆场 2—除尘间
 3—废钢装料跨 4—汽房 5—电气室 6—混铁车 7—铁水罐修理跨 8—渣罐堆场 9—渣房 10—除尘系统沉淀池 11—煤气柜 12—贮气罐 13—贮气罐
 14—混铁车除渣跨 15—混铁车脱泥场(铁水预处理) 16—渣房堆场 17—中间罐修跨 18—二次冷却及混铁修理间 19—结晶器及混铁修理间 20—冷
 却场 21—堆料场 22—铁水罐干燥场 23—除尘烟筒 24—RH真空处理

气体含量的纯净度)。氧气顶吹转炉钢的深冲性能和延展性好, 适宜轧制板、管、丝、带等钢材。这类钢约占钢材总量的 50~60% 或更高。

当前, 氧气顶吹转炉所生产的高级优质钢和特殊钢的种类和产量都在不断增长。如: 高碳钢、油井套管钢、不锈钢、弹簧钢和调质低合金钢等都可冶炼。

5. 适于高度机械化和自动化生产

氧气顶吹转炉由于冶炼时间短, 生产效率高, 再加转炉容量不断扩大。为了准确控制冶炼过程, 保证获得合格钢水成分和出钢温度, 必须进行自动控制和检测, 实现生产过程自动化。另外, 在冶炼时间短, 生产效率高的情况下, 也只有实现高度的机械化和自动化才能减轻工人的劳动强度, 改善劳动条件。

氧气顶吹转炉炼钢生产的计算机自动控制, 始于美国的琼斯-劳林公司。目前, 美国、日本、西德、英国、法国以及苏联等主要产钢国家新建的氧气顶吹转炉炼钢厂, 以及由这些

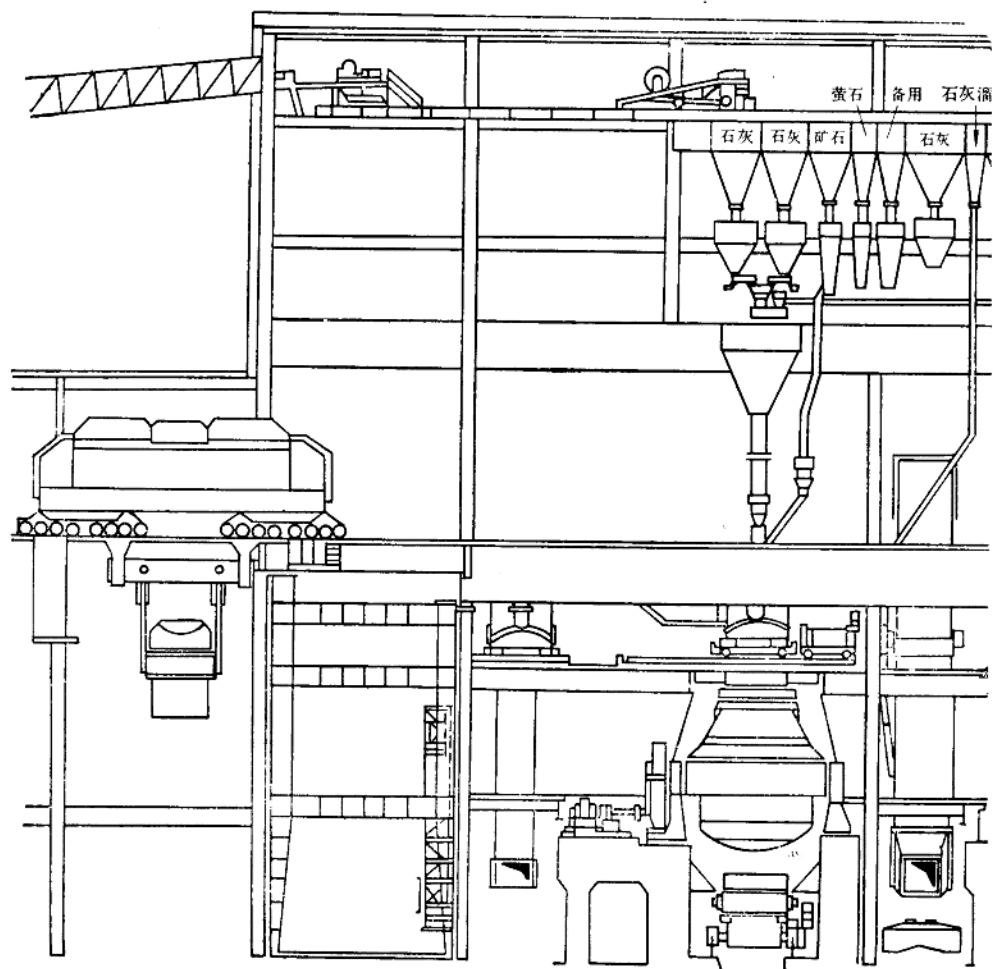


图0-3 氧气顶吹转炉。

国家在国外所承建的氧气顶吹转炉炼钢厂，一般都采用电子计算机进行自动控制。据报道，日本 38 个氧气顶吹转炉炼钢厂中，有 23 个采用电子计算机控制，约占 65%；美国 37 个氧气顶吹转炉炼钢厂中，有 18 个采用电子计算机控制，约占 50% 左右。

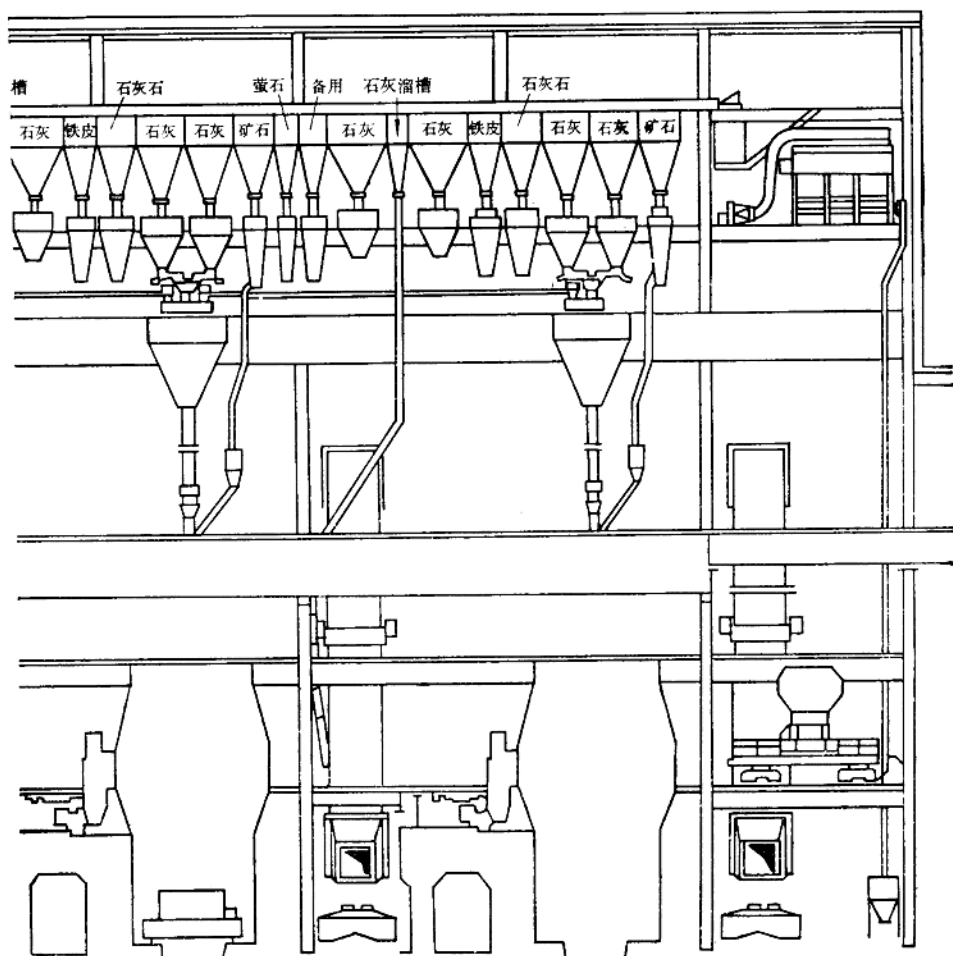
我国氧气顶吹转炉炼钢生产也正在开始使用电子计算机进行控制，如太原钢铁公司第二炼钢厂和宝山钢铁总厂的炼钢厂等。

氧气顶吹转炉车间采用电子计算机控制的目的：

(1) 控制吹炼过程，实现氧气顶吹转炉炼钢的高效率、高质量、低消耗；

(2) 对整个车间进行自动化管理。有的车间从原料到制成品几乎全部由电子计算机管理，车间的生产计划、生产调度、成本核算、日报分析、打印各种表报和累计操作数据等等，都由电子计算机来进行。

这样不仅能减少管理人员，而且能充分合理地组织生产，把整个工厂的各部分的工作有



间纵向剖面图

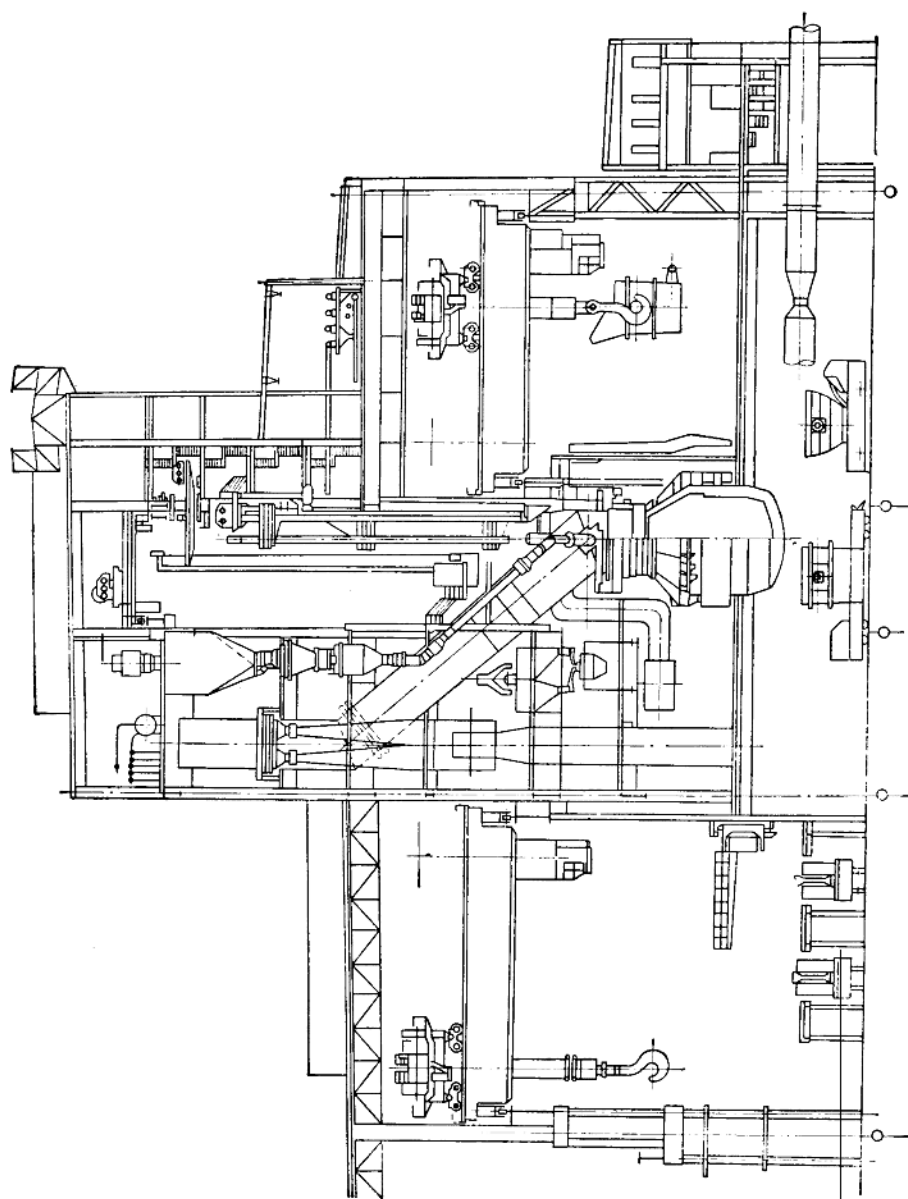


图0-4 气顶吹转炉车内横断面布置图

机地联系起来。

氧气顶吹转炉炼钢法，是将高压纯氧（压力为 5~15 大气压，纯度 99.5% 以上）借助氧枪从转炉顶部插入炉内向熔池吹氧，将铁水吹炼成钢。其生产工艺流程及其主要设备的布置见图 0-1、图 0-2、图 0-3 和图 0-4 所示。

氧气顶吹转炉车间的主要设备有：

1. 转炉本体系统

转炉本体系统包括：转炉炉体及其支承系统——托圈、耳轴、耳轴轴承和支承座，以及倾动装置，见图 0-5。

炉体是转炉容纳铁水进行吹炼的工作部分。它通过托圈和耳轴支承在轴承及其支座上，借倾动装置可以 0.1~1.5 转/分的速度，随耳轴、托圈旋转 $\pm 360^\circ$ ，以满足装废钢、兑铁水、出钢、出渣、修炉等工艺操作要求。

倾动装置是由电动机、一次减速机、二次减速机、扭矩缓冲平衡装置等组成。其结构可见图 0-5 所示。

2. 氧枪及其升降、换枪装置

向转炉内供氧的氧枪又称吹氧管，在吹炼期间要插入炉内进行吹氧，约承受 1700℃ 的高温，所以需要进行水冷。

氧枪枪体是由三层无缝钢管同心套装在一起，前端（氧气喷出部分）焊有铜质喷头，尾端（氧气进入和冷却水进、出部分）与氧气软管、冷却水进出软管相连。

在吹炼时间之外，如兑铁水、装废钢、出钢、倒渣、取样等倒炉时氧枪都要提出炉外。因此，氧枪需要安装在升降装置上，使其能够根据操作工艺的要求随时升降。

为了保证连续生产，必须设有备用氧枪。备用氧枪在等待位置就已经将氧气、进出水管路连接好，当工作氧枪一旦损坏，它即可迅速移至工作位置。

将备用氧枪送入工作位置的装置称为“换枪装置”。

氧枪的升降和横移换枪装置及副枪装置，见图 0-6 所示。

3. 副枪装置

由于氧气顶吹转炉吹炼周期很短，纯吹炼时间一般只需十几分钟即可结束，为了准确地判断吹炼终点，提高钢水终点命中率、炉龄、产量和产品质量，以及降低消耗等各项重要指标，近年来许多国家应用电子计算机对转炉冶炼过程进行静态和动态相结合的控制。当前，动态控制的最广泛和有效的手段是采用副枪检测装置，测定钢水温度、钢中含碳量和含氧量，并可同时取样供化验分析。另外，还可测定熔池深度，以供准确确定吹炼枪位等等。所以，尽管副枪测试的信息不连续及测试多用于吹炼后期，但仍被愈来愈多的人们所重视和推广。

副枪装置的基本结构及布置，如图 0-7 所示。

4. 散状料系统

氧气顶吹转炉炼钢使用的原料有：

金属料——铁水、废钢、生铁块；

脱氧剂——最常用的是锰铁、硅铁、硅锰、铝等；

造渣剂——石灰、萤石、白云石等；

冷却剂——废钢、铁矿石、石灰石、氧化铁皮等。

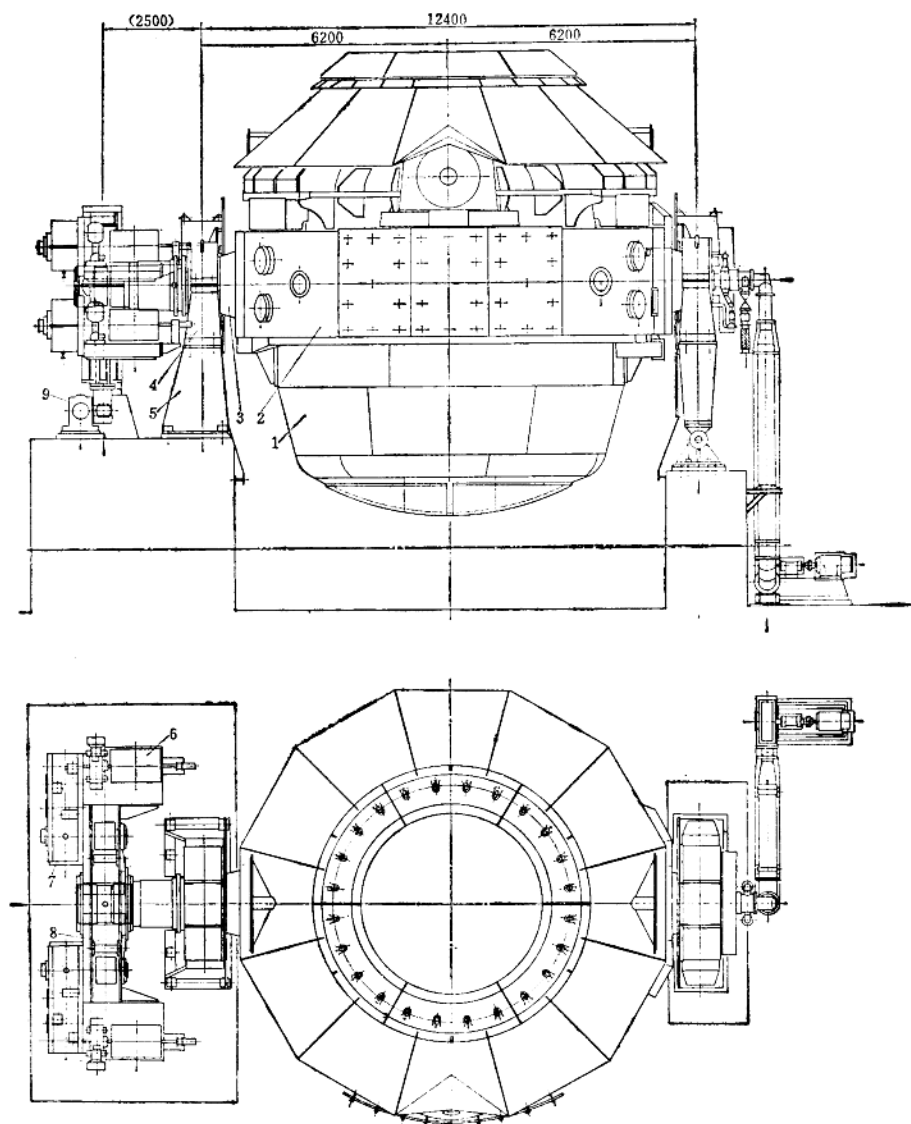


图0-5 300吨转炉本体图

1—炉体 2—托圈 3—耳轴 4—轴承座 5—支座 6—电动机 7—分减速机 8—主减速机 9—扭矩平衡止动装置

另外，还有供烘炉用的焦炭。

供应铁水的设备有：贮存和混匀铁水用的混铁炉，运输铁水用的铁水罐和铁水罐车。以及兼具存贮、混匀和运输功用的供应铁水设备——混铁水车。目前，最大的混铁水车容量已达 600 吨。有的混铁水车不仅限于钢铁厂内部运输铁水，而且可进行厂与厂之间的长途运输。

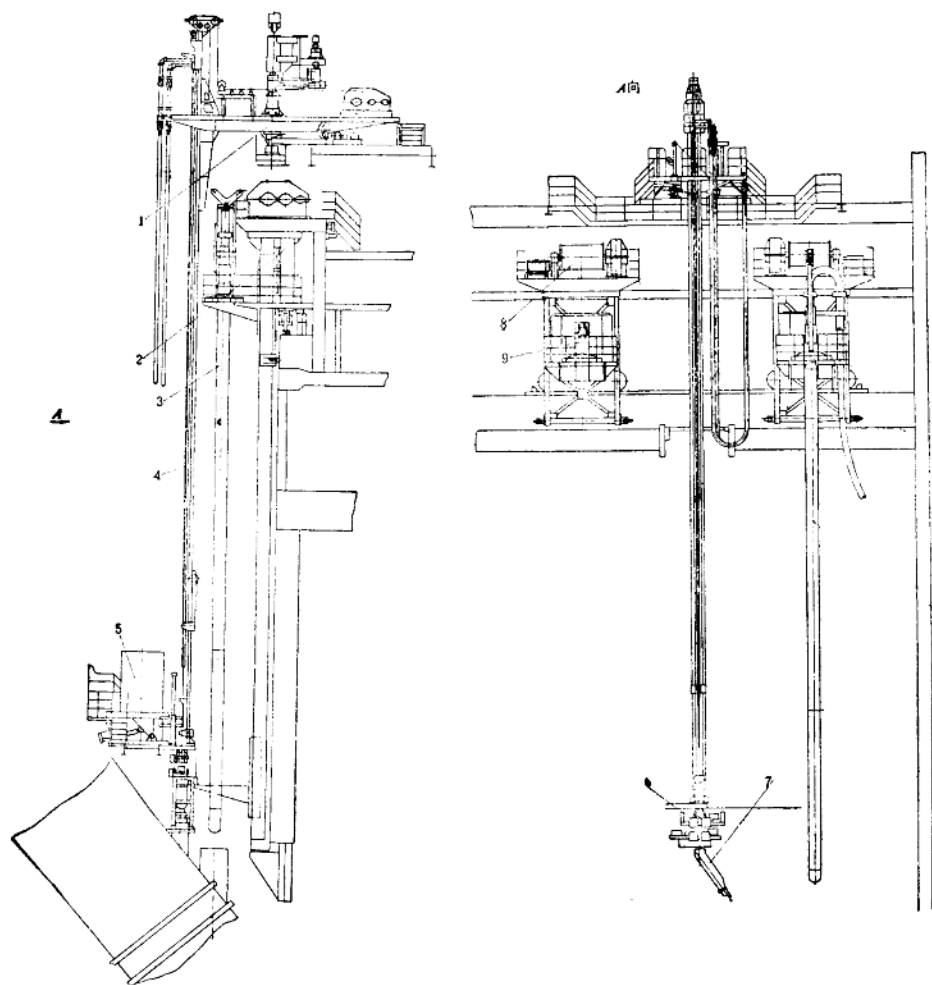


图0-6 氧枪升降和横移装置及副枪装置

1—副枪升降、旋转装置 2—氧枪横移装置 3—氧枪 4—副枪 5—给头装置 6—拔头装置
7—测头溜槽 8—氧枪升降卷扬机 9—氧枪升降小车

废钢用起重机或专用废钢加料车装入炉内。

造渣剂、冷却剂和焦炭都属于散状料。由于氧气顶吹转炉的生产特点是冶炼周期短，生产效率高，因此，在生产过程中，散状料能否顺利、准确、及时地加入炉内，将直接影响冶炼工艺及钢的品种质量。

为了保证转炉正常生产，散状料的供应必须有可靠的设备及合理的工艺流程（见图 0-8、0-9、0-10）。

脱氧剂——锰铁、硅铁、硅锰、铝等合金料有的用起重机或叉车运送，经称量、烘烤后，由溜槽加入钢水罐内。亦有的车间将其象散状料一样从地下料仓（低位料仓）经斜桥上料胶带输送机送至炉顶料仓（高位料仓）。应用时，再经可逆胶带输送机（亦有的不设置该机）、

电磁振动给料器、称量斗、螺旋溜槽、漏斗、斜管溜槽加入炉内。或由高位料仓经称量斗直接进入汇总漏斗，再经溜槽加入炉内。

图 0-11 所示，为铁合金料在炉子操作平台上、下的供料系统。

5. 活动烟罩提升和开出设备

在氧气顶吹转炉内吹炼铁水时，产生大量气体（烟尘），经烟罩进入烟气处理系统。烟罩分为固定烟罩和活动烟罩两部分。固定烟罩是装在余热锅炉和活动烟罩之间，有的固定烟罩与余热锅炉连在一起，安装好后固定不动；活动烟罩在吹炼时降下，接近炉口。

活动烟罩与炉口的距离应当适当，一般在 80~150 毫米或更小些。如过大，将有大量冷空气进入炉气处理系统，增加除尘系统的负荷。另外，当炉气回收时，也会由于大量空气的混入，降低了 CO 的浓度，影响煤气的利用。如过小，吹炼过程中喷溅的炉渣容易将烟罩粘在炉口上。所以，在吹炼过程中，需上、下升降活动烟罩。活动烟罩分两种结构形式，即：单罩结构和双罩结构。

双罩式活动烟罩的结构，如图 0-12 所示。

检修烟罩或重新砌炉时，需将活动烟罩沿水平方向从炉口上方移开。活动烟罩水平移动的传动图，如图 0-13 所示。

6. 烟气净化处理系统

在氧气顶吹转炉吹炼过程中除供氧初期和后期外，中间有大量含有 CO 气体的高温烟尘排出。烟气流约 60~80 标米³/吨钢，其中的微尘含量达 100~150 克/米³，它的温

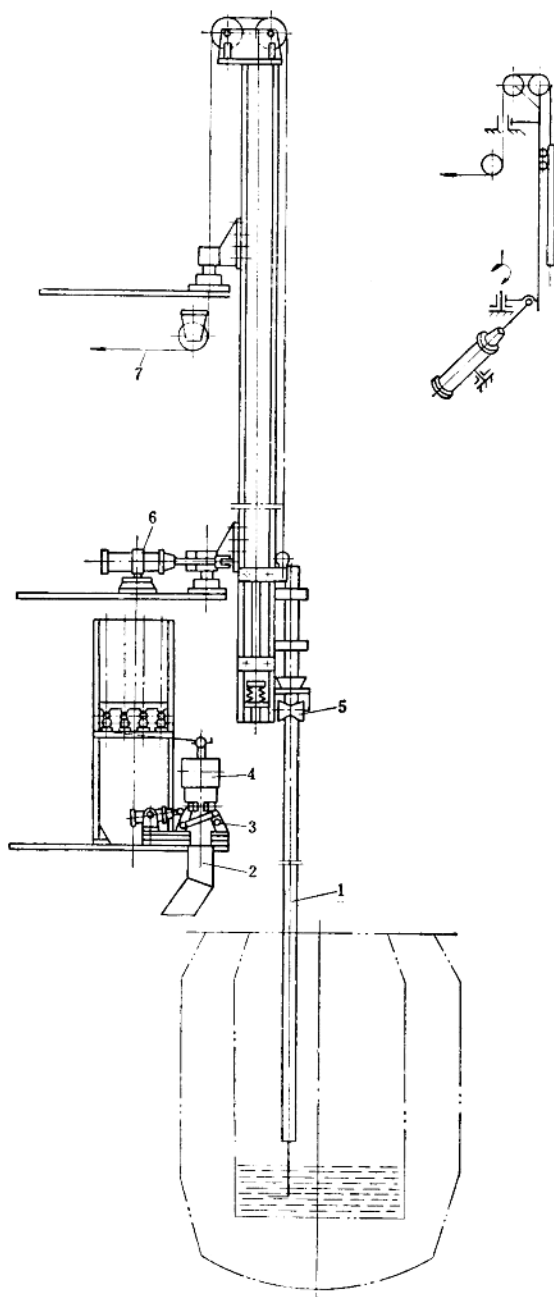


图 0-7 某厂 20 吨转炉副枪装置示意图

1—副枪 2—溜槽 3—拨头机构 4—给头装置 5—清渣器
6—旋转机构 7—升降机构

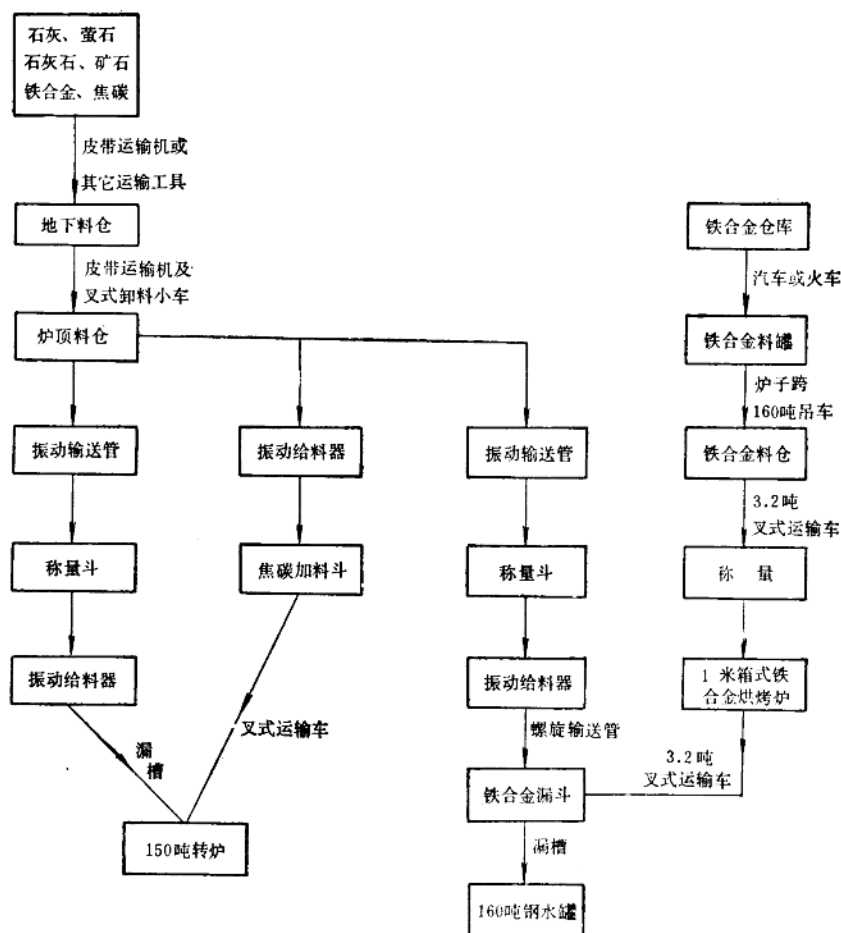


图0-8 散状料及铁合金工艺流程图

度稍低于金属熔池的温度。这些烟尘排入大气不仅造成空气污染，危害农作物生长和居民健康，而且也是资源的巨大浪费。所以，将转炉排出的烟尘进行处理，回收余热、氧化铁粉尘和CO气体，是有重大经济价值的。

目前，国外炉气处理系统的形式很多。在我国应用较普遍的处理过程是：高温烟尘首先进入半余热锅炉进行余热回收和冷却，而后再经一级、二级文氏管进行除尘和冷却，再进入喷淋塔进行精除尘和进一步冷却。经脱水后的烟气被抽入风机，经水封器之后，或者被送入贮气罐（煤气柜）回收利用，或者被送入放散烟囱顶部燃烧后放散。

某厂300吨转炉烟气净化系统，如图0-14所示。

一个氧气顶吹转炉炼钢车间实现炼钢生产的主体工艺设备基本如上所述。

在氧气顶吹转炉的生产能力和工艺水平不断提高和完善，并逐渐取代平炉炼钢的时候，1967年西德 Maximilianshütte（马克西米利安）钢铁公司，用天然气作氧枪的保护剂，从炉底埋入的氧枪供氧，在30吨吹炼高磷生铁的托马斯转炉上进行底吹试验成功。随后，即