

貴州八萬建電解鋁廠

二 程 技 術 總 論

中國有色金屬工業設計院

第七編 設 計 說 明 書

贵铝八万吨电解铝厂
工 程 技 术 总 结

中国有色金属工业总公司
第七建设公司

半个多世纪以来，我们国家经历两次历史性的飞跃。就在这第二次飞跃的起点上，由于铝锭需求量大增，国家要求扩建贵州铝厂，但国内铝电解技术落后，1979年决定由国外引进。

贵州铝厂第二电解铝厂引进工程投资7亿元，年产6.5万吨铝锭、1.5万吨 $\Phi 9.5$ 毫米铝线坯、预焙阳极块5万吨、阴极炭素制品1万吨。引进包括日轻160千安安全密闭中间下料预焙槽，以及由它转手的法、瑞、西德、意各国公司的辅助机组和美国的电子计算机控制系统与干法净化技术专利，工艺和设备都相当于国际七十年代的水平，引进成套设备总重量6.35万吨。

1979年10月1日正式开工到1981年12月18日第一批电解槽通电试生产，建设工期只用了26个月，应该说这是一项速度快、质量好的工程，它现在已成为我国生产铝锭的主要基地之一。

我们第七建设公司全体职工，在党和上级的正确领导下，日以继夜地参加了施工，作出了贡献。

人们常把引进国外技术及其装备所支付的代价称之为“学费”，目的在于通过学习和实践，使我们国家能生产这些装备，提高我们的科学技术水平。

贵铝第二电解铝厂从建成到现在已经多年了，为了充分发挥“学费”的作用，我们请参加电解铝厂引进工程施工的同志，总结了各方面的技术经验，奉献给今后参加电解铝工程建设的同志们作为工作中的参考。

杨 斌

随着我国四个现代化建设的进程，国民经济对有色金属的需求量日增，为了加速有色金属工业的发展，根据国家优先发展铝工业的方针，在“六五”计划前期，由国家经委会同冶金部及其所属有色金属工业管理总局，组织引进了年产八万吨电解铝工厂的成套技术和装备。

在从日本引进160千安密闭中间下料预焙阳极电解槽系统设备时，还在单机上引进了世界上铝工业比较发达国家的部分先进设备。这项引进项目属于国际上七十年代末水平，具有投资少、见效快、效益好的特点，使我国电解铝工业的设备得到了更新、产品质量和数量有所提高、环境污染明显的改善，并经消化吸收、部分设备国产化，成为带动电解铝工业发展强有力的基地，为发展我国电解铝工业做出贡献。

中国有色金属工业总公司第七建设公司（前身是冶金工业部第七冶金建设公司）作为这项引进工程的总包单位，在党的十一届三中全会建设四化方针的指引下，在贵州铝厂八万吨电解铝引进工程施工中，贯彻了中央实行对外开放和对内搞活的政策，积极慎重地吸收外国有益的经验，虚心学习外国技术并与我国多年的铝工业建设经验相结合，勇于探索，运用各种技术手段，在建设中广大职工充分展现了中国工人阶级的聪明才智，不仅很快掌握了国际铝工业建设多种专业的先进技术，而且有所改进，不少方面使外国专家赞叹不已。

八万吨电解铝工程于1979年10月破土动工，1982年3月全面投产，历时两年半。八万吨电解铝引进工程高速优质顺利建成，不仅尽快地发挥了投资效益和社会长远的综合效益，赢得社会信誉，而且这支素质较好，能打硬仗，技术过得硬的长期从事铝工业建设的施工队伍得到了锻炼和考验，施工管理和技术水平又有了明显的提高，为我国电解铝工业建设提供较好的物质技术基础。

为吸收和消化国际电解铝工业的先进技术，总结积累我国铝工业建设中的经验，以利进一步培养专业人才，以期更好地保持和发展已经初步取得的技术优势，有助于我国整个电解铝工业建设管理和技术水平的提高，我们组织参加该项工程建设的有关同志，编写了《贵铝八万吨电解铝厂工程技术总结》，希望这本总结能为我国有色金属工业“七五”规划优先发展铝工业和加快我国四化建设进程，实现2000年宏伟目标，起到一块铺路石的作用。

李 杰

目 录

贵铝八万吨电解铝工程的施工经验.....	杨焕文 (1)
----------------------	---------

机械设备安装及金属结构部分

一、ECL多功能天车安装.....	吴一贯 (27)
二、电解槽筑炉施工.....	庄金标 (36)
三、电解槽软母线熔化极氩弧焊接.....	佘连璧 (50)
四、电解槽阳极导杆制作.....	王 延 (62)
五、液压顶升八千吨氧化铝贮仓.....	王洪绪 (71)
六、160 千安大型预焙电解槽整体安装用临时天车.....	王洪绪 (81)
七、八百吨氧化铝贮仓安装.....	李惠龄 (88)
八、干法净化三十五米钢烟囱安装.....	李惠龄 (94)
九、吊车梁 T 型焊缝的超声波探伤.....	王鸿飞 (100)
十、厂房钢结构及电解槽下部槽钢结构的质量问题.....	汪焕庭 (109)
十一、钢结构制作中的工艺改革.....	刘伟民 (120)
十二、普鲁配兹轧机设备与液压、气动系统介绍.....	孙驰声 (127)
十三、二十公斤铝锭铸造机液压与气动概述.....	李忠水 (168)
十四、四十吨保持炉的砌筑.....	彭程富 (187)
十五、整体找正、一次灌浆安装铝锭铸造机.....	于贺年 (197)
十六、四十吨保持炉液压管路的酸洗.....	李春荣 (201)
十七、TA-26 型空压机及其安装.....	王力田 (206)
十八、引进工程的日本小机具.....	陆俊德 (245)

电气设备安装及计算机控制系统部分

十九、整流变电所电气安装工程中的几项重大技术措施.....	徐关炯 (273)
-------------------------------	-----------

二十、220 千伏受变电整流及车间变电所接地工程修改设计建议

.....	徐关炯 李宗芬 (284)
二十一、BAK224LL 型 SF ₆ 气体断路器安装和调试.....	凌立人 赵万里 (295)
二十二、综论电容式电压互感器 (220KV/110V C. P. D)	李宗芬 (318)
二十三、直降式整流变压器组工程概述.....	徐关炯 (327)
二十四、整流变压器与硅整流器的调试.....	陈开来 (379)
二十五、受变电整流高次谐波的分析.....	应在渚 (400)
二十六、动力变压器及 10.5 千伏配电系统.....	应在渚 (420)
二十七、10.5 千伏系统的接地方式.....	应在渚 (450)
二十八、ECI 多功能天车调试注意事项.....	郭自强 (454)
二十九、低压 400 伏/230 伏接地系统.....	应在渚 (466)
三十、电解槽铝母线氩弧焊接.....	王海林 (469)
三十一、8 字形绝缘滑触线的安装和运行.....	马振荣 (491)
三十二、综述日本的低压电气配线工程.....	马振荣 (498)
三十三、全自动运料车系统设计更改综述.....	郭自强 (507)
三十四、槽控箱调试.....	郭自强 (523)

附录

关于贵州铝厂八万吨电解铝项目的后评估(节录).....	联合开发贵州 铝资源指挥部 (562)
编后语.....	出版审编组 (570)

贵铝八万吨电解铝工程的施工经验

八万吨电解铝工程(又称“合同工厂”)是七十年代末国家从日本引进的重点建设项目之一,工程量大,技术先进,建设时间紧,施工要求严。从1979年10月1日破土动工,到1981年9月第一、二株电解及相应的各项设施按中日合同工期胜利竣工,经空负荷联动试车合格,并于1981年12月18日通电投产。日方建设负责人认为施工建设速度是世界水平的,并对中方的个人施工技术表示钦佩。这项工程的建设速度快、质量好,国家有关部门和贵州省也都给予好评。

一 中日合同简介

经国家批准,由中国技术进口总公司代表中方,与日轻、东工物产、伊藤忠商事三家株式会社联合代表日方,于1978年12月29日签订成套设备引进合同。国家于1979年6月4日批准合同正式生效。

合同工厂建设规模是年产商品铝8万吨,其中20公斤铝锭7万吨,Φ9.5毫米铝线坯1~1.5万吨,电解自用预焙阳极炭块5.1万吨,阴极制品1万吨(炭块7000吨,糊类3000吨)。

合同工厂由受变电整流、电解、铸造、阳极、阴极和公用辅助六个部分组成。日方提供设计、技术秘密及专利、成套设备和两年备品备件。日方供应的设备材料约12.2万立方米,重约6.35万吨。合同工厂的引进价格为1.42亿美元。

国内配套设计除厂区场地平整、道路、排水及土建外,尚有厂前区、仓库区、通讯、水源、铁路、民用建筑等,由贵阳铝镁设计院负责。

经国家批准的建设投资,国外引进费用为1.505亿美元,国内部分设计概算为2.68亿元,合计总建设投资约人民币7亿元。

二 工程概况

厂区占地面积79.84公顷,其中八万吨电解铝工程占地54.84公顷。主要实物工程

量为:

场地平整土石方约 116 万立方米(其中挖方约 64 万立方米、填方约 52 万立方米), 建筑面积 17.32 万平方米, 桩基约 8000 根, 混凝土 12.2 万立方米(其中预制构件 2.7 万立方米), 厂房钢结构 1.3 万吨, 标准设备安装 3991 台(7156 吨), 非标准设备及工艺结构安装 1.65 万吨(需现场组拼 9440 吨), 筑炉及炭块扎缝约 3.5 万吨, 铝母线焊接安装 7000 吨, 室外管道 83.7 千米, 电气设备 3485 台, 电缆敷设 42.1 千米, 架空线路 86 千米, 铁路 5 千米(包括立交桥 2 座, 挖方约 20 万立方米, 填方约 7 万立方米)。

合同工厂主要车间有:

1. 受变电整流车间

变配电设备及直降式变压整流器均为露天配置, 采用主控制室集中控制, 在各车间共设有铝房式低压变配电所 10 个, 主要设备有日本富士电机的最新产品 59200 千伏安 59 千安直降式整流变压器 4 台, 20000 千伏安动力变压器 2 台, 及 SF₆ 气体开关(GCB) 9 组。

受变电整流系统可将 220 千伏高压交流电直接转换成 920 伏直流电(供电解铝用)及 10.5 千伏交流电, 后者通过各车间的低压变配电所再降压为 6 千伏及 380/220 伏动力照明电。

2. 电解车间

建筑面积 52000 平方米, 包括宽 20.3 米、长 388.2 米主厂房 4 栋, 氧化铝输送系统, 烟气净化系统, 电子计算机站, 无油空压站及槽内衬工场。

电解主厂房标高 2.4 米的操作平台可通行卡车, 厂房结构采用 H 型钢柱、吊车梁及平行弦屋架的钢结构, 屋面每栋采用预应力双 T 型混凝土板 456 块, 墙面每栋采用厚 0.7 毫米铝波形板 13000 多平方米。每栋厂房设置密闭、自动打壳及中间下料的 160 千安预焙阳极电解槽 52 台, 法国 ECL 公司多功能天车 2 台; 整个车间共有 208 台电解槽及 8 台多功能天车。氧化铝输送系统设有 8000 吨贮仓 1 座, 800 吨及 500 吨贮仓各 2 座, 以及斗式提升机、皮带机、风动溜槽等。烟气净化系统采用加拿大 Alcan 干法净化装置 2 组, 每组有布袋过滤器 28 个、排风机 4 台、钢烟囱 1 座。电子计算机采用美国 DEC 公司的 PDP-11/34 型, 容量 64/KB(千字节), 外存贮装置有磁盘 3 台(每台容 120 万字), 日轻提供在加拿大 Alcan 使用成熟的软件。

3. 铸造车间

建筑面积 12200 平方米, 包括主厂房、成品库、熔渣冷却、废乳液处理及轻重油设施。

主要设备有 40 吨保持炉 3 台, 20 公斤铝锭铸造机组 2 台, 意大利 Properzi 铝线还连铸连轧机及法国 OTT 公司绕线机组成的联合机组 1 套。

4. 阳极车间

建筑面积 53000 平方米, 主要设备在石油焦煅烧工段有 $\phi 2.2 \times 45$ 米回转窑 1 台, $\phi 1.8 \times 18$ 米冷却机 1 台; 阳极制糊成型工段有瑞士 Buss 公司 KE—500 型连续混捏机 2 台, 西德 KHD 公司转台式振动成型机 1 台; 焙烧工段设有日轻专利的 68 室无盖焙烧炉 1 座及仿荷兰 NKM 技术的多功能天车; 阳极组装工段采用法国 ECL 公司的成套设计及设备。

5. 阴极车间

建筑面积 23000 平方米, 主要设备有电气煅烧炉 2 台, 3000 吨油压机 1 台, 32 室有盖焙烧炉 1 座及炭块加工铣床。

合同工厂的技术先进性, 主要表现在电耗低 (每吨铝耗电为 13600~13700 度), 环保条件好 (HF 气体及粉尘捕集率达 99%), 设备采用世界各国名牌产品, 机械化自动化程度较高, 尤其是电解车间采用电子计算机自动控制操作, 因此劳动生产率高, 是我国第一个现代化的电解铝工厂。

三 施工总规划及部署

1. 建设总进度的确定

依据中日合同规定, 日方提出合同工厂的建设总进度计划表, 在工序安排上较为周密, 但因日方设备、尤其是第三国设备交付期晚, 便将这些工序的工期压缩得无法实现。因此日方建设进度计划, 完全从贸易角度出发制定, 难以指导施工进行。

为此, 1979 年 8 月经中、日双方多次谈判, 因日方设备交付期晚, 他们主动提出要求建设期推迟四个月, 从而克服了我方合同生效期批准推迟带来的困难, 并为购地、拆迁、材料准备、三通一平等建设准备工作赢得了时间。

经上级有关部门同意, 合同工厂建设工期确定 1979 年 10 月 1 日破土动工, 1981 年 9 月第一批电解槽启动, 1982 年 3 月全部建成。

2. 施工总部署

合同工厂的电解车间是生产的核心,工程量最大,工序交叉复杂,工期最长。因此组织施工确定以电解工期作为控制工期,据此按投产的顺序来确定受变电整流、阳极、铸造、公用辅助及国内配套工程的开竣工日期。阴极由于是独立系统,只要不超过合同工厂的最后竣工期,可以单独确定。整个工程我们分为有侧重的五个阶段组织施工。

(1) 建设前期施工准备阶段 时间由1979年7月1日开始至9月底基本结束,重点做好施工准备,搞好三通一平,相应完成铆焊车间、铝母线加工场、混凝土搅拌站等后方生产基地;

(2) 第二阶段 以动力送电为主,同时完成阳极系统试车必需的水、电、压缩空气、蒸汽、铁路等公用辅助设施。工期由1979年10月1日起至1981年2~3月,通称“81.2项目”;

(3) 第三阶段 阳极系统竣工,试车投产。工期由1979年10月1日起至1981年4~7月,通称“81.4项目”;

(4) 第四阶段 第一、二栋电解、整流系统及铸造20公斤铸锭系统竣工,第一批电解槽启动。工期由1979年10月1日起至1981年9月,通称“81.9项目”;

(5) 第五阶段 第三、四栋电解、铸造铝线坯轧机系统及阴极系统竣工。工期由1980年1月起至1982年3月止,通称“82.3项目”。至此,合同工厂全部建成。

3. 建设体制及施工任务分工

合同工厂建设体制是建设指挥部领导下的甲、乙方体制。建设指挥部由贵州省冶金局、贵铝、七建、三建及贵阳铝镁设计院等单位的主要领导同志组成。

建设单位是贵州铝厂。有色七建是施工总包单位,参加施工的队伍除有色七建外,尚有有色三建、六建及冶金部十八冶等。贵阳铝镁设计院是设计总包单位,并负责对日方的设计联系。

施工任务分工是:有色六建负责阳极区和阴极区的土石方工程(约51.2万立方米);十八冶负责受变电整流区的土石方工程(约3.7万立方米);有色三建负责阳极、阴极的全部建筑安装工程,及位于该区域的水、电、风、汽、重油、道路等设施;有色七建负责受变电整流、电解、铸造的全部建筑安装工程,及位于该区域的土石方、水、电、风、汽、重油、道路等设施,全厂铁路、全厂通讯、全厂照明、公用区、厂前区、仓库区、水源及外部输水管等工程。

劳动力需用量经计算，有色七建为 160 万工日，三建为 58.5 万工日。

设备供应由贵州铝厂负责，国控材料由七建统一申请指标及订货，地方材料由各施工单位自行订购，合同工厂的全部混凝土预制构件均由有色七建负责制作。

4. 施工总平面

施工总平面由有色七建负责总体规划。施工用水 79360 升/时，铺设环状及分枝状管线；施工用电 2770 千瓦，分设 6 个供电点，6 台变压器总容量为 3510 千伏安；现场排水利用正式工程；施工道路由于中日双方的地下管网设计需从 1979 年 8 月至 1980 年 8 月分三批出图，为了避免埋管破坏正式路面，只好选择修建临时道路方案。

现场临时设施，按施工总平面划定的区域，由有色七建各专业公司和有色三建一、二公司自行搭设。

5. 生产基地设施

根据合同工厂的混凝土预制构件、金属结构制作量及建设进度计划的要求，有色七建对生产基地设施进行扩建，计有：

(1) 混凝土搅拌站 原有搅拌站装有 800 升搅拌机 3 台，按双机生产，每班产能为 $2 \times 0.8 \text{ 立方米} \times 0.9 \times 20 \text{ 次/时} \times 7 \text{ 小时} = 201 \text{ 立方米/班}$ 。

现场新建 2 台 750 升拆装式机械化搅拌机组，每台铭牌产能为 100 立方米/台班，按利用率 80% 计，每班产能为： $2 \times 100 \times 80\% = 160 \text{ 立方米/班}$ 。

两者合计，混凝土搅拌形成每班 360 立方米的产能；

(2) 混凝土构件预制车间 新建 18 米跨度厂房的板材生产线 1950 平方米(室内)、540 平方米(露天)，设有 10 吨及 5 吨天车各一台，年预制产能约为 1 万立方米。

新建 89.5 米露天长线胎模生产线 4 条，应用于制作电解工程的双 T 形预应力屋面板 1824 块。

加上预制车间原有的生产能力，形成年产 1.6 万立方米的混凝土预制能力；

(3) 铆焊车间 新建 24 米跨度厂房 6800 平方米，设有 30 吨天车 1 台及 15 吨天车 2 台，年金属结构制作能力为 6000 吨，加上原有制作能力，形成 8000 吨的年生产能力；

(4) 新建金工厂房 3800 平方米，主跨 18 米，设 10 吨及 5 吨天车各 1 台，用于金属结构支撑件的制作；副跨 11 米，设有 5 吨天车 2 台，用于后方铝母线组装焊接；

(5) 木工制作、汽车及重型机械修理、机修等均利用原有生产基地。

四 土建施工的三项技术突破

桩基技术、H型钢制作、预应力钢筋混凝土双T形屋面板是土建施工中的新技术，不突破这三项技术关键，将使施工遇到障碍。

1. 桩基技术

(1) 地质概况 厂区属于溶蚀性丘陵谷地，以残坡积红粘土及石灰质基岩为主，岩溶较发育，地面自上而下土层大致有植物层、残坡积红粘土、碎石及石灰质基岩，按区域分布有所差异，基岩起伏不平，土层厚度差异很大。厂区地形标高海拔1283.83至1306.13米，地下水位介于1283.25至1285.34米之间。地质勘察报告提供的土壤容许承载力为：

1) 红粘土硬塑21吨/平方米，可塑15吨/平方米，软塑11吨/平方米，流塑7吨/平方米；

2) 石灰质基岩强风化50吨/平方米，中风化150吨/平方米。

(2) 电解主厂房的桩基 四栋电解厂房按平行配置，每栋跨度20.3米，长度388.2米，各栋之间相距21米。厂房差异沉降设计控制严格，基础最终稳定沉降量要求在10毫米以内。根据地质勘察报告，场地范围内有少量有充填物的溶洞，岩石露头很少，红粘土复盖层的厚度变化较大。为避免溶洞的不利影响，设计利用上层红粘土（硬塑及可塑）作为持力层。由于场地经过平整，该区域有接近一半面积为填方区。

日方基本设计提出电解主厂房采用筏片基础方案。经中方设计及施工单位研究，根据工程地质、贵州气候及施工技术条件，否决了日方方案，决定采用天然地基与爆扩桩相结合的方案。

爆扩桩施工，先用机械大面积平整场地形成施工面，然后使用多台钻机（共投入自动车改制的钻机6台）同时作业，在填土上钻孔至红粘土持力层，最后浇注混凝土爆扩成桩，这类爆扩桩的入土深度约在3.5~6米间。在电解东部区域，由于回填土厚达4~9米，下面红粘土持力层过薄，七建三公司采用自制井架式长杆钻机，钻孔深度可达10米左右，利用合金钻头穿入基岩100~200毫米深，然后爆扩成桩，称之为“岩面钻孔爆扩桩”。前者施工4000根左右，后者施工1300多根。

爆扩桩施工前，做了九根试桩，经开挖成桩情况良好，并摸索出一套施工工艺。根据试桩的荷载，设计与施工单位共同研究，决定选用钻孔直径300毫米，扩大头直径

900~950 毫米，扩大头下红粘土持力层不小于 800 毫米，桩混凝土标号 200[#]，内放 $\phi 12$ 毫米钢筋 6 根，环箍 $\phi 6$ 毫米间距 250 毫米，单桩设计容许承载力取 25 吨（为慎重计，取值较试验结果为小）。

岩面钻孔爆扩桩，做了三根试桩，开挖后扩大头平稳座落在基岩上，并与岩面有一定的粘结力。1[#] 试桩压至 100 吨，沉降为 4.4 毫米；2[#] 试桩加荷至 30 吨，沉降即不稳定，下沉至 384 毫米因超出仪表量程而放弃；3[#] 试桩（距 2[#] 试桩 1.65 米）当加荷至 30 吨，沉降经 9 小时才稳定为 6.97 毫米。再继续加荷又能很快稳定，直加至 100 吨，总沉降量为 12.7 毫米。经过分析，大家认为 1[#] 及 3[#] 试桩情况是正常的，3[#] 桩下可能遇到风化岩层或夹有土层的岩石，但夹层一经压实，承载能力就明显上升；2[#] 试桩下可能有顶板过薄的溶洞，当加荷至 30 吨时，桩头穿过被炸裂的顶板进入软土层，发生大量的下沉。试验证明岩面钻孔爆扩桩的承载能力很大，但不能完全杜绝基岩的陡坡、溶洞夹层等隐患，为确保结构安全，设计仅取爆扩桩的承载力值。

设计沿电解厂房全长设沉降伸缩缝 4 道，将厂房结构分为 5 个区段。当爆扩桩与岩面钻孔爆扩桩位于同一个区段，为保证厂房的均匀沉降，设计在岩面钻孔爆扩桩的承台上做填土褥垫。褥垫材料取用细粒状红粘土，在最佳含水量下分层夯实，夯实后容重大于 1.7 克/立方厘米，干容重一般达到 1.25 克/立方厘米。褥垫厚度设计经计算，取 70 厘米。

施工中有色七建一、三公司还攻克了地质资料不全、桩孔错位、倾斜、桩孔有水、桩孔遇障碍物、瞎炮、浮炮、引爆后混凝土拒落、桩孔颈缩、坍方、接桩等施工问题，为确保工程质量及进度做出了贡献。现在电解厂房已投产数年，厂房的沉降量均小于设计规定。

将中方的方案与日方方案对比，初步统计节约混凝土 3.88 万立方米，钢筋 5100 吨，避免大量土方开挖，缩短了工期，技术经济效果是显著的。

(3) 8000 吨贮仓基础的打入桩 8000 吨氧化铝贮仓是合同工厂原料贮存的最大一个料仓。仓体由钢板制成，直径 26 米，仓高 27.22 米，贮仓基础的设计垂直荷载为 15300 吨，位于场地整平前的大水塘上，填土厚度约 4 米，基岩深度为 9~11 米，地质条件较差。原设计为箱形基础，因此施工必须将土方大开挖。有色七建一公司根据地质及施工技术条件，对贮仓基础形式做了多方案的比较，最后征得设计单位同意，选用打入桩基础方案。该方案避免土方大开挖，缩短工期一个多月，节约投资 10 万多元。

打入桩基础承台直径为 29.2 米, 采用 $350 \times 350 \times 11000$ 毫米的混凝土预制桩, 混凝土标号 400*, 内配 8 根 $\phi 18$ 毫米的主筋, 桩打入中风化基岩, 桩距按 1.5 米布置, 共计 292 根桩(实际打入 307 根桩)。打桩设备采用国产 D—1.8 柴油打桩机, 缸锤自重 1.8 吨, 一般起跳高度 1.5 米左右, 桩帽自重 560 公斤, 锤击次数 45~50 次/分。由于贵州山区, 采用打入桩比较少, 为了取得设计及施工经验数据, 做了两根试桩, 记录如表 1、表 2 所示。

表 1 试桩打桩综合记录表

试 桩	打 入 土 中 每 米 锤 击 次 数 (次)									总锤击 次数	入土深度 (m)	最终贯入度 (20击)(mm)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1*	1	5	29	41	51	74	85	100	182	568	9.1	4
2*	1	2	6	30	44	68	77	129	146	503	8.7	4

表 2 荷载试验记录(桩打入土中后33天)

荷 载 (t)		0	20	40	60	80	100	120	140	160
1* 试桩	加荷沉降值(mm)	0	0.31	0.73	1.22	1.84	2.41	3.10	3.85	4.53
	卸荷回弹值(mm)	0.57		2.29		1.37		0.58		0
2* 试桩	加荷沉降值(mm)	0	0.35	0.91	1.79	2.78	3.84	5.04	6.10	7.15
	卸荷回弹值(mm)	3.32		2.37		1.29		0.44		0

将试验结果绘制成荷载—沉降曲线, 没有出现明显拐点, 说明单桩的极限荷载大于 160 吨, 设计取单桩容许承载力为 55 吨, 则安全系数 $K > 2.9$ 。

保证打入桩质量的关键是贯入度的控制。规范要求最后连续两阵锤击, 每阵锤击 10 次, 贯入度 $e \leq 10$ 毫米。该工程设计要求最终贯入度 $e \leq 10$ 毫米/20 锤。共打入 307 根桩, 除 9 根未打到基岩外, 其余均打到基岩。表 3 是最终贯入度统计表。

表 3 最终贯入度统计

最终贯入度(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8~10
桩 数	14	22	85	57	46	6	5	53

从以上统计可以看出, 最终贯入度在 5 毫米以内的有 224 根桩, 占总数的 75.2%, 说明打桩质量是良好的。

2. H 型钢制作

H 型钢由于其合理的力学特性, 制造劳动量小, 在国外工业厂房及高层民用建筑中

广泛应用。国外目前在 H 型钢生产方面,已取得轧钢工艺上的突破,这给 H 型钢的应用,开辟了更广阔的前景。

合同工厂的土建基本设计由日方承担,采用 H 型钢的柱、梁及吊车梁。施工图由贵阳铝镁设计院绘制,由于某些技术原因,曾先后出了三版蓝图。通过对 H 型钢新产品制作及鉴定,及时地会同设计单位解决了图面上的问题,并提出十多项较大的合理化建议,给国家节省资金十多万元。现将制作中的实际情况简述如下:

(1) 钢板质量问题 设计规定 H 型钢的梁、柱钢号选用 A₃F, 吊车梁钢号选用 A₃(镇静钢,并附加保证冲击韧性指标)。

在制作过程中,修造厂同志发现钢板有夹渣分层现象,经超声波检查证实。除向冶金部报告外,曾与有关钢厂联系,证实我国近年来钢板的质量还存在一些问题。因此制作 H 型钢,对钢板质量的检查与管理,必须给予充分的注意。

经用超声波探伤检查 H 型钢柱的 80 根成品及半成品组合件,发现 24 根有程度不同的夹渣分层缺陷。施工与设计单位逐根研究缺陷的处理办法,采用局部更换钢板,对缺陷处用电弧气刨切除长焊肉补强、加盖板补强等方法处理,最后仅报废 2 根,达到了既保证工程质量,又减少国家损失的目的。

(2) 加工余量及焊接收缩量的考虑 根据制造 H 型钢的施工实践,总结出以下的经验数据:

- 1) 自动和半自动切割余量: 钢板厚度 $\delta > 20$ 毫米为 3.5 毫米, $\delta \leq 20$ 毫米为 3 毫米;
- 2) 手工切割余量: 钢板厚度 $\delta > 20$ 毫米为 4 毫米, $\delta = 12 \sim 20$ 毫米为 3~3.5 毫米, $\delta < 12$ 毫米为 2 毫米;
- 3) 剪切余量: 要求边缘加工者为 2 毫米;
- 4) 刨边及磨光加工余量: 氧割下料时为 2~3 毫米, 剪切下料时为 2 毫米;
- 5) H 型钢组合焊缝收缩量: 截面高 < 300 毫米为 $1/1000$, 截面高 $300 \sim 500$ 毫米为 $0.7/1000$, 截面高 > 500 毫米为 $0.5/1000$;
- 6) 焊缝接头的收缩量: 每个接头为 1~2 毫米;
- 7) 横向加劲肋的焊接收缩量: 每对加劲肋为 1 毫米。

为了保证构件的长度(或跨度)尺寸,习惯上预留 50~80 毫米附加余量,最后割除。

(3) 钢板接料 梁、吊车梁的下翼缘板、柱的翼缘板,均采用 45°斜接,梁、吊车梁的上翼缘板、腹板,均采用对接。

上下翼缘板和腹板的接口位置应互相错开300毫米以上，并使接口与加劲肋错开100毫米以上。翼缘板和腹板的接料长度不小于1500毫米，腹板接料宽度不小于300毫米。

接料的焊接应加引弧板，引弧板宽60毫米，长不小于80毫米。接料后的翼缘板，应用平板机或卷板机校平。

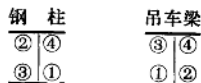
(4) 刨边及钻孔 重级工作制吊车梁的下翼缘当用手工切割或剪切时，应沿全长刨边；当用自动或半自动切割时，可局部用电焊长肉修平，不必刨边。中轻级工作制吊车梁不受此限制。

重级工作制吊车梁的上翼缘与腹板要求顶紧，因此腹板上端面必须刨边。而腹板之下端面没有刨边要求。

钢柱与屋架之联接螺栓，吊车梁与柱及制动梁的联接孔，均采用成品钻孔。吊车梁、制动梁、柱撑、柱脚螺栓孔则采用半成品钻孔。重级工作制吊车梁与制动梁的高强螺栓孔，采用样杆定位成品钻孔，节约了昂贵的套模钻孔费用。以电解车间吊车梁、制动梁的约七万个高强螺栓孔用样杆检查，仅有1%不能通过，安装单位反映良好。

(5) 装配与焊接 H型钢组合件的装配，在专用卧式装配胎具上进行。胎具设计按H型钢构件的截面及长度而定，胎具必须具有能调间隙，正、反面定位点焊方便，并要求在水平及垂直两个面上具有足够的精度和可靠性。定位点焊的高度为4~6毫米，长度为60~100毫米，间隔400~500毫米。

H型钢翼缘板与腹板的四条主焊缝，采用埋弧自动焊接，在船形焊接胎具上进行。施焊的顺序见下图：



焊缝质量除满足设计尺寸及外观要求外，还采用超声波检查。

H型钢的焊后校正，则利用现有的一台Y71~100型塑料制品液压机改造成H型钢翼缘平面弯曲校正机，并安装构件输送滚道及牵引机构，解决了这一难题。

(6) 工种组成及劳动生产率 在H型钢制作中，投入主要工种和劳动力约为90余人，各主要工种的比例为：

铆工：电焊：气焊：起重：油漆为1:1:0.4:0.4:0.3。劳动生产率平均为1.1~1.2吨/人月，高峰为1.6吨/人月。

3. 预应力钢筋双T形屋面板

日本由于钢产量多，建材工业发达，厂房广泛采用钢结构，屋面采用彩色保温复合钢板，墙面用优质石棉波形板。这就形成日方土建设计人员缺乏模数制的概念，土建结构布置只知道单纯服从工艺设计的要求。因此，合同工厂土建基本设计中各厂房的柱距及跨距就五花八门。经过中方设计的努力，除电解车间主厂房外都改为按中国模数制绘制施工图，屋面就可以大量使用我国的预应力大型屋面板。但是电解车间因受 160 千安大型电解槽配置的限制，确实难于改变 6.575 米的厂房柱距，这就带来采用什么屋面板的问题。

经中方设计和施工单位从技术经济多方面的研究，最后决定采用预应力钢筋混凝土双T形屋面板(简称双T板)。电解车间的双T板板面尺寸，长分 6550、7380、8470 毫米三种，宽分 2980、2930、2415 毫米三种，板厚 50 毫米，肋高 300 毫米，两肋的中心距均为 1700 毫米。其中基本类型为 2980×6550 毫米及 2980×8470 毫米两种双T板。混凝土标号为 400^{*}。长 6550 毫米板每肋配预应力筋 2 Φ 12，长 8470 毫米板每肋配预应力筋 3 Φ 12，预应力钢筋采用双控冷拉Ⅳ级钢筋。电解车间各种规格双T板需要量见表 4。

表 4 各种规格双T板需要量表

长 (mm) \ 宽 (mm)	2415	2930	2980
6550	384	192	960
7380	16	8	40
8470	56	28	140

有色七建二公司制作双T板，采用胎模露天长线台座法生产，建立 4 条长 89.5 米的长线胎模，并设 10 吨箱式龙门吊车 1 台。胎模肋槽及平面用无收缩灌浆料抹光，其重量配合比见表 5 中 1 号。

表 5 胎模无收缩灌浆料配合比(重量比)

序 号	胎模部位	普通水泥 500 [*]	中 砂	水	FDN 减 水 剂	膨 胀 剂 (明矾石粉)
1	肋 槽	1	1	0.32	0.01	0.1
	平 面	1	0.5	0.35	0.005	0.05
2	肋 槽	1	1	0.32	0.01	
	平 面	1	2	0.40	—	