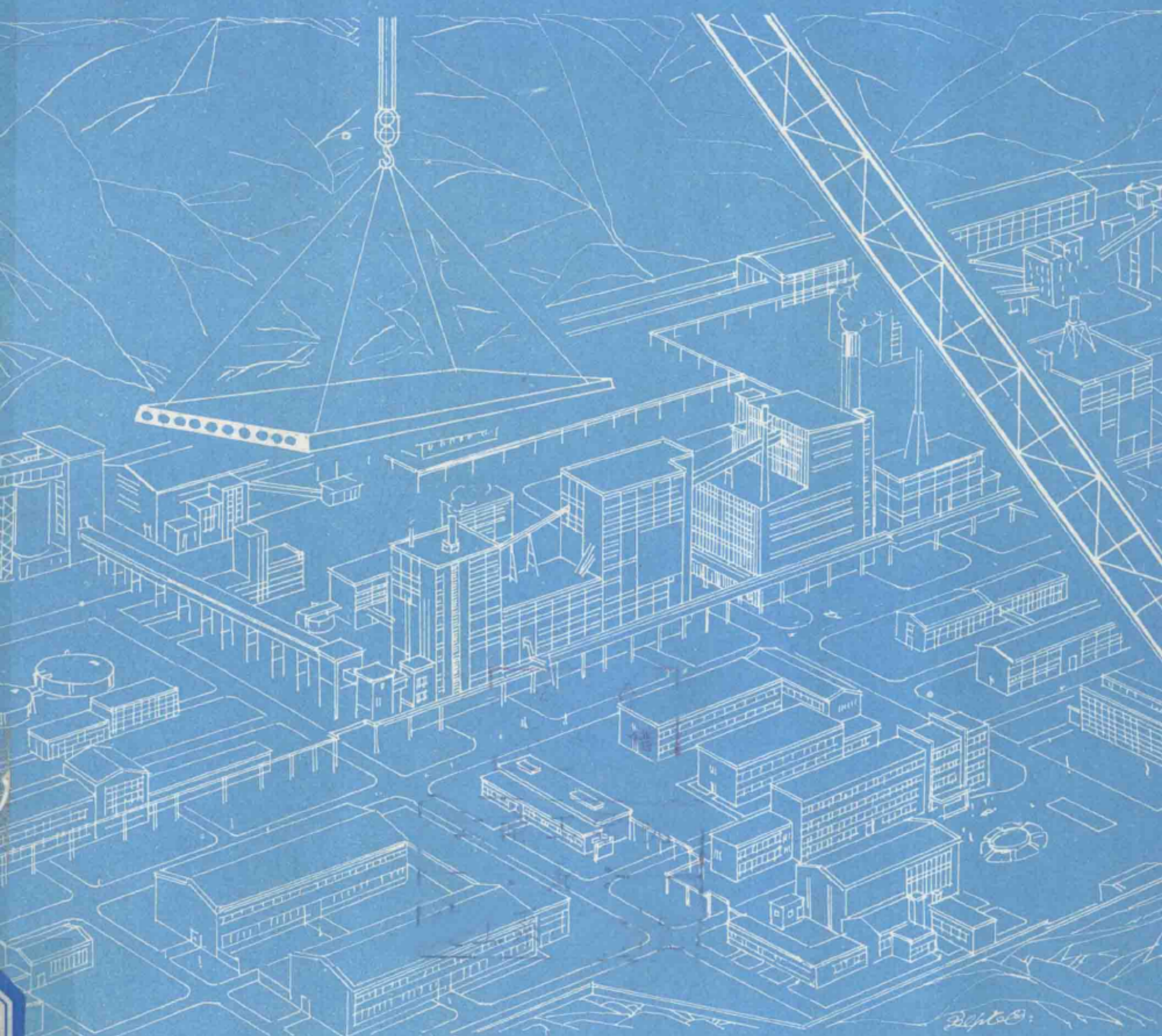


昆明三聚磷酸钠厂

—施工技术经验汇编—



云南省建筑工程局五钠指挥所 主编

编写说明

我们为了总结昆明三聚磷酸钠厂施工技术经验，组织了部分工程技术人员，搜集了1983年底以前第一期工程施工资料编写本书，至于其他施工单位施工的工程和84年至85年增加的设计修改，填平补齐项目约20余项，建筑面积4.2万 m^2 （总计第一期工程210余项，建筑面积22.8万 m^2 ）安装设备等未包括在内。五钠厂的主要产品黄磷，磷酸，五钠等成套设备是从西德引进的，属于西德八十年代初的技术水平，工艺先进，技术复杂，自动化水平高。其余生产洗衣粉系统，备料系统，公用工程，机修电修仪修系统，均为国内配套项目。我们第一次承担这样大的工程，在国家计委，轻工部，省委省政府领导下，和其它单位大力支援，经过我们全体参战职工共同努力，辛勤奋斗，达到工程进度快，工程质量好，概算有节余，经济效益好。曾得到国家计委，轻工部，建设部多次表扬，本应很好进行全面施工技术总结，但因工作忙，水平低未能做到全面总结，仅是部分同志就有关技术经验进行总结，编成此书，由于起步时间短，水平低，可能错误很多，请读者批评指正。

本书出版得到魏金跃、周文明、郜万生、万跃林、黄希铨同志大力支技，毛朝屏同志参加了大部分审稿，由卓献丹组织并参加部分编写和搜集资料工作，徐秉正同志也参加部分工作，一并致谢。

云南省建工局五钠厂工程指挥所

1985年5月1日

目 录

一、昆明三聚磷酸钠厂工程概况·····	(1)
二、嵌岩钻孔灌注桩施工·····	(5)
三、关于Ⅵ级 $\Phi 12$ 钢筋,对焊接头用于预应力屋架的实践·····	(16)
四、防腐蚀工程施工·····	(18)
五、滇池取水泵房施工·····	(26)
六、半成品库筒仓滑模施工·····	(31)
七、混凝土质量控制·····	(39)
八、定型钢模与钢管组合施工实例·····	(44)
九、黄磷车间钢结构厂房施工技术总结·····	(55)
十、200立米厚壁球罐的现场吊装焊接·····	(62)
十一、球柜焊缝外观检查方法·····	(79)
十二、磷炉变压器真空注油施工·····	(82)
十三、72750千伏安制磷电炉安装·····	(86)
十四、大型碳砖砌筑·····	(95)
十五、昆明三聚磷酸钠厂电除尘器安装·····	(98)
十六、管道脱脂方法·····	(103)
十七、制磷电炉中钴—60放射源安装施工及射线防护措施·····	(104)
十八、 γ 物位计施工总结·····	(107)
十九、锅炉集箱与下降管角焊缝X射线透照方法的讨论·····	(111)
二十、磷酸、五钠车间电子卡柜调试简要·····	(115)
二一、生产区工程沉降观测成果资料·····	(119)
二二、五钠厂总平面布置图	
二三、五钠厂土建安装工程资料汇总表·····	(表1至表16)

昆明三聚磷酸钠厂工程概况

一、概 况

昆明三聚磷酸钠厂，以下简称五钠厂，是以生产洗涤剂原料为主的我国六五计划重点工程之一，引进西德磷炉，烧结，磷酸，五钠四个车间以及相应的附属项目等主要生产流程全套设备。年产黄磷3万吨，三聚磷酸钠简称五钠 ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$) 12万吨，可配制洗衣粉60万吨（本厂生产洗衣粉3万吨），本厂全部投产后，我国不再进口五钠了，可为国家节约外汇6000万美元。此外国内配套有洗衣粉车间，原料系统，电修，仪修，机修系统，公用工程系统，污水处理系统，还有电极糊生产车间，年产电极糊2500吨。黄磷副产品磷铁，年产5400吨。工程概算总投资7.7亿元，其中第一期工程概算为5.36亿元，包含国外概算2.34亿元。我们云南省建筑工程总公司主要承担生产区，生活区全部土建安装工程，共计完成工作量1.42亿元，扣除清算价后，实际完成工作量1.01亿元。

第一期工程生产区和生活区工程大小共188项，其中生产区131项，包括引进项目10项。生产区工程包括：1) 生产车间4个，即备料车间，黄磷车间，五钠车间，洗衣粉车间。2) 辅助生产车间4个，即电修仪修车间，机修车间，动力车间，贮存车间。3) 公用工程，包括厂区总图工程，二级废水站，滇池水泵房，汽车修理车间和汽车库。4) 厂前区工程。生活区工程包括生活区，文教区，外招，医院等。

主要原料和燃料年需量

- 1、磷矿石32.5万吨。含 P_2O_5 27%计算。
- 2、烟煤4万吨。 $Q_H = 6700$ 大卡/公斤。
- 3、无烟煤7万吨。 $Q_H = 7000$ 大卡/公斤。
- 4、焦炭7.1万吨。干基含固定碳 $\geq 80\%$ ，挥发物1%，硫 $\leq 1.2\%$ ，灰份中含 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 15\%$ ，粒度5—25毫米，表面水 $\leq 10\%$ 。
- 5、硅石6.6万吨。含 $\text{SiO}_2 \geq 96\%$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0.5\%$ ， $\text{Al}_2\text{O}_3 1.35\%$ ，水份 $\leq 1\%$ ，粒度6—50毫米。
- 6、粘土1.5万吨。 $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 25\%$ ， $\text{SiO}_2 50\%$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 5\%$ 。
- 7、纯碱9万吨。无水粉状含 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \geq 98\%$ ， $\text{NaCl} \leq 1\%$ ， $\text{Na}_2\text{SO}_4 \leq 0.1\%$ ， $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 0.002 - 0.008\%$ ，假比重800—1000公斤/立米。
- 8、用电量：最大负荷75715千瓦，其中3万吨黄磷用电4.9亿度，五钠12万吨用电0.252亿度，洗衣粉3万吨用电0.045亿度。
- 9、用水量：最大用水量860立米/小时，平均用水量656立米/小时。
- 10、用蒸气量：最大用气量41吨/小时，平均用气量27吨/小时。

1 1、氮气：年需要量 6 2 4 万 NM^3 。

总图运输：工厂生产区占地面积 3 6 . 5 公顷，厂区建筑面积 1 5 万平米（包括二期工程），建筑系数 3 2 . 9 %。全年总货运量 1 2 1 万吨，其中铁路运输量 9 8 万吨，汽车货运量 2 3 万吨。

二、工程施工概况

（一）工程质量

1、土建工程，建筑面积 1 8 6 0 4 6 平米，全优工程面积 1 4 9 7 6 7 平米，全优率占 8 0 . 5 %，优良品 1 6 6 . 1 8 9 平米，优良品率占 8 9 . 3 %，其中生产区建筑面积 1 3 5 9 0 3 平米，全优工程面积 1 1 6 3 3 3 平米，全优率占 8 5 . 6 %，优良品 1 2 7 3 4 1 平米，优良品率占 9 3 . 7 %。

2、安装工程共计 4 5 项，全优工程 3 9 项，全优率占 8 6 . 5 %，其中引进工程 1 0 项，均属全优工程，全优率占 1 0 0 %。并经辽阳化工总厂，南京烷基苯厂，南京化学工业公司同行专家检查和引进工程经西德技术人员签字，一致认为工程质量好，施工进度快，投资省。

（二）工程工期：从国家正式批准开工之日算起（1 9 8 0 年 1 1 月 1 7 日正式批准开工），合同规定 3 6 个月全部完成土建和安装工程。我们省建总公司全体参加施工的干部和工人，以为国争光的心情实际于 1 9 8 3 年 7 月提前 4 个月完成合同规定的任务。

（三）主要工程量

1、土建工程量：①建筑面积 1 8 6 0 4 6 平米；②平基挖土石方 6 4 . 8 8 万立方米（不包括挖建筑物构筑物基础土石方和回填土）③钢筋混凝土 8 . 1 8 万立方米，混凝土 4 . 1 7 万立方米，④砖砌体红砖 2 7 0 0 万块，⑤模板面 4 1 . 7 2 万平米，⑥钢材 1 . 4 9 万吨。

2 安装工程量：①设备 1 7 2 8 台，6 1 3 0 吨，②管道 1 6 1 公里，③仪表 4 5 8 4 台，④电缆 6 7 8 公里，⑤钢结构 2 9 8 5 吨，⑥工业炉 1 4 3 5 立米，⑦保温 1 1 8 0 立米。

土建和安装各单位工程工程量详见附表。

（四）劳动力需要用量：全部工程按预算计算用工 2 5 0 . 5 8 万工日，其中土建用工 1 6 7 . 1 8 万工日，安装用工 8 3 . 3 9 万工日，实际完成建安工作量 1 . 0 1 亿元，其中土建工作量 6 5 0 0 万元，安装工作量 3 6 0 0 万元，综合产值每工为 4 0 元。

（五）主要材料需用量和施工用量

1、钢材需用量 2 0 4 0 0 吨，其中土建 1 4 8 9 5 吨，安装 5 5 0 5 吨，节约钢材 6 6 4 吨，节约率 3 . 2 5 %。

2、木材按预算摊销定额计算，需用元木 2 3 7 9 0 立米。

3、水泥需用量 7 2 9 0 0 吨，其中土建 6 9 8 4 0 吨，安装 3 0 5 9 吨，节约水泥 2 2 7 4 吨，节约率 3 . 1 %。

4、以钢代木：脚手架和支撑共用钢管 1 7 2 8 吨，扣件 1 8 5 0 6 4 件，模板用

钢模约占70%，实际用钢模16600平米，窗面积58357平米，采用钢窗23785平米，门面积21516平米，采用钢门6256平米。上述措施据粗略估算可代替元木3万立方米。

(六) 施工管理

1、计划：采用关键线路法。根据施工组织总设计制定工程进度控制计划，首先抓主要矛盾线，把引进项目中的磷炉工段，烧结工段，磷酸工段，五钠工段列为主攻项目。其次狠抓公用工程同步施工，它是单机试车的必备条件，第三抓贮存车间和厂前区工程，这类工程结构简单，容易抢建，如仓库工程等十个项目，共计建筑面积42764平米，作为堆放电器设备，重要设备，仪表检验调试，耐火，保温材料堆放，管道加工等场地。对施工单位建设单位有很大的经济节约价值，第四原料生产系统及配套项目和生活区，适当安排，调济施工。这样保证重点抓住主要矛盾，照顾一般工程，综合保证试车和使用要求。

2、组织：云南省政府组织五钠工程领导小组，工地由各方面领导成员组成五钠工程指挥部，省建筑工程局在现场组成五钠工程指挥所。负责土建，安装施工管理工作。在施工技术方面，分级组织技术交底，图纸会审，编制单位工程施工组织设计，编制施工图预算，组织内部土建与安装中间交工，交叉作业，交工验收，组织绘制竣工图。在工程质量监督方面，指挥所设有专职技术监督生产安全人员，对现场经常性检查，并组织定期的和不定期的质量安全大检查。在总平面管理和施工机械管理都有专职人员负责。

3、指挥：建立三级管理网，省建工局五钠工程指挥所、各公司指挥组和基层施工队等形成强有力的指挥系统，实行面对面的领导。指挥所每周召开一次施工调度会，各公司每日召开一次生产碰头会。此外根据生产需要指挥所每周召开1—3次专业会，及时指挥生产和技术工作，解决实质性的具体问题，使建设工作有秩序的进行。

4、协调：首先是以缩短施工周期为目标的进行协调。土建与安装交叉作业施工的协调十分重要。要保证土建安装配合好，双方基本无干扰，效率高，工作方便。引进项目的磷炉工段，烧结工段，磷酸工段和五钠工段，国内配套的锅炉房，空分空压站，煤气站，干燥破碎工段。这些工程特点是土建和安装工程量需要施工周期长，按国外水平，如磷炉工段仅安装工期17个月，烧结工段安装期14个月，磷酸和五钠工段，虽然安装期要少些但防腐工程量大，需要工期长。如何协调设计，施工，安装，就是化工企业建设中的一个关键问题。为了缩短工期，经我们研究建议磷炉工段现浇钢筋混凝土楼板改为预制预应力薄板上现凝混凝土楼板，即预制与现浇相结合的方法，得到建设单位支持，设计院同意，13层楼板施工缩短工期2个月，锅炉房施工，改变传统施工方法，厂房和设备基础同时施工，厂房屋架采用100^T-m塔吊吊装，创造了提前交付安装，结果土建和安装工期由30个月，只用24个月完工。国内外设备需要预先进行检查验收后再进行安装。因此编制土建和安装交叉作业计划尽可能提早进行交叉施工，也是协调工作的一个重要内容。开好分段分层交叉施工协调会议，或根据需要有预见性的召开定期和不定期的专业协调会议来解决交叉作业中的问题也是很重要的。

协调工作的另一个内容是总平面管理。施工用电，设三个配电房，每个配电房安装2台560KVA变压器，统一协调用电。施工用水，分片供应统一管理。现场道路交

通，由指挥总图管理人员统一安排。场地使用，必须经过总图管理人员的同意，方能使用，这样管理协调达到现场文明施工，有条不紊。

5、控制：核心是进行工程质量控制，工程进度控制。从干部到工人坚持质量高标准，从材料，劳动力，机械，技术措施等特别是以工作质量给以保证，为创造国家优质工程而奋斗。在工程进度方面我们坚持立足于提前完成计划的雄心，紧张而有秩序进行组织施工，同样从材料，劳动力，机械给予保证，特别是国外引进工程的进度，和国内配套的公用工程进度；始终控制在良性环境下施工，终于提前了4个月完成合同工期。

（七）施工中存在的问题

1、本工程设计变更（至1983年10月底止）3902条，其中德方修改近1000条，做到快速修改设计，快速准备，快速施工，在收尾阶段统一清理现场，为投产创造一个良好的环境。

2、回填土：普遍不重视回填土质量。已成通病，因为回填土不密实造成部份地基不均匀沉陷，地坪开裂，特别是受振动的设备基础放在回填土上更为突出，如电极糊工段（引进项目）振动磨设备基础造成返工，就是突出例子，建议回填土应严格控制空隙比 e_0 ，当作振动设备基础时 $e_0 = 0.65$ ，当作地坪时 $e_0 = 0.7$ ，室外回填土 $e_0 \leq 0.75$ 为宜。

3、地下坑漏水和地下室沉降缝漏水。主要原因是土建施工混凝土质量差混凝土不密实，人为的施工缝所造成，有的是不均匀沉降造成漏水，今后设计和施工都应研究改进。

4、预留孔：预埋件不准确比重数量不少，比云天化工程预埋件精确度差距较大，原因是施工人员不重视，测量不认真所致，造成返工，今后应认真解决。

5、测量问题：在工业厂房中，特别是有连续性栈桥，厂房，管道等测量工作非常重要。对测量控制桩位保护，要有栏杆保护措施，桩位一但有微小移动，将影响全部测量工作的精确度，我们对此重视不够，还有沉降观测点设置不及时，影响沉降观测效果。这些工作对今后投产也是十分重要的。

6、施工管理问题：由于土建完工后，急于验全优工程。但事后一进入安装，到处打洞比比皆是，室内外管道施工，窗台以下墙群，和室外护坡、室内地坪，打得一团糟，损失较大，今后应在安装前，不作室外护坡，2公尺以下墙群粉水和地坪工作，仅作底层，待安装好后，一并验全优，这样从整体出发，以利安装，减少装饰修补工作。

7、大型屋面板与屋架焊缝长度问题。设计规定最小焊缝长度50毫米，大多数达不到要求，原因是钢模长度为5950毫米，屋架上弦预埋钢板是 160×160 毫米，则理论焊缝长度 $160 \div 2 - 25 = 55$ 毫米，仅有5毫米允许偏差，这样是很难保证50毫米焊缝长度。建议钢模长度应为5970毫米，预埋钢板改为 180×180 毫米，这样允许偏差25毫米，可以得到保证，50毫米焊缝长度。

8、各种地下管道施工：1）凡需作试压的都要有计划的分段试压合格后方能回填土，凡需砌窖井的都要砌好，并需内外粉水后才能作回填土。2）凡管道设计有坡度时，必须按设计进行，如雨水管道不得有反坡。3）横穿公路或铁路的管道，要注意设置保护管道的套管。4）管道上使用法兰规格要严格检查，不准乱拿乱用，特别是防腐的法兰，使用前要逐个试压检查合格方得使用。

9、焊接质量。焊接在安装工程中是很重要的，有高压管道，磷炉炉体钢结构焊接，200立米氮气厚球焊接（中压要求）等工程已事先有计划培养焊工技术，经考试合格后，方许上阵焊接，重要焊接部位要采用x射线，超声波，电磁，着色渗透等方法进行检查。总之焊工要定期进行检查，六个月以后检查一次为宜。

10、高度重视各种特殊炉子的设计要求，筑炉材料性能，规格的要求，我们对电极糊备料车间的燃烧炉，干燥破碎车间热风炉，由于事前重视不够，准备仓促，工作非常吃力被动。

11、对国内外设备安装前开箱检验工作是非常重要的环节，特别对国外设备要严格检查，不能迷信国外设备都是好的，我们感到检验手段方法，深度和广度不够，专职技术检验人员太少，这一工作如有疏忽，给国家造成巨大损失。如磷酸工段的燃烧塔实质是一个废品。

12、对外商签订合同工作时，必须认真细致研究，宜细不宜粗，应规定技术标准，质量标准，供货范围。签订合同时要有专业技术人员参加，负责到底，对国内外设备要检查，试运转验收，否则会带来损失。

嵌岩桩孔灌注桩施工

一、概况

昆明三聚磷酸钠厂中由西德引进的磷炉、烧结、磷酸、五钠四个工段，厂房高，荷载大。烧结工段最大柱网 $6\text{ m} \times 12\text{ m}$ ；总高 55 m ，最大柱轴向荷重 1800 吨 ，磷炉工段最大柱网 $12\text{ m} \times 12\text{ m}$ ，总高 52 m ，最大柱轴向荷重 1300 吨 ，五钠工段柱网 $6\text{ m} \times 6\text{ m}$ ，总高 40 m ，最大柱轴向荷重 1000 吨 。

这几个工段厂房的地质情况复杂，地貌是一个南北西三面环山，东面地势稍平的长圆形的分水岭型岩溶洼地，东西长 1200 m ，南北宽 500 m ，地面高程 1935 m ，距东面 500 m 的螳螂川台地高出河谷 60 m ，西南和南面以一岭之隔高出岭外洼地 25 m 和 35 m ，地下水位埋藏于地表面下 $10\text{ m}—32\text{ m}$ ，受季节性变化大（幅度为 $3\sim5\text{ m}$ ， 10 m ）地下水活动方式以垂直渗流为主，而地层主要为陡倾角构造节理。因此该区岩溶发育的主要形态以石芽，石筍，溶沟，溶洞为主，基岩表面形成石芽，溶沟，溶槽所构成的喀斯特地形，一入厂区，地貌上显出“峰林”景观，峰尖与沟底相差可达十多米。总的地质情况是：1、上复盖 $10\text{ m}—28\text{ m}$ （局部达 38 m ）厚度的粘土，亚粘土，轻亚粘土呈硬塑—可塑状态，有少量土洞，但土层是稳定的。2、下部为白云岩，厚为 $280\text{ m}—320\text{ m}$ ，岩溶发育情况复杂，溶洞小，（水平分布范围1米以内而垂直高度变化大）以垂直溶隙和溶洞为主，大多有粘土填充。因此，基岩也是稳定的，属于一个相对稳定的地块。从抗震角度看，属于低烈度地区。

面对这四个主要厂房，高，大，重的特点，工艺对建筑物建成后的绝对沉降量和相对沉降量的要求较少，基础沉降差不得大于10毫米，而地质是这样复杂，经过基础方案的比较，决定采用嵌岩钻孔灌注桩，一二期工程共完成钻孔灌注桩317根。

第一期工程施工情况，1980年至1981年3月共7个月完成灌注桩235根。桩径 $\varnothing 1000\text{mm}$ 有144根， $\varnothing 850\text{mm}$ 有91根，平均深度25.3m，最深达41.95m，浇灌水下混凝土6209.92M³，总进尺5945.54m，其中土层4536.85m，岩层1408.49m，桩的质量合格，达到设计要求。共用钻机13台，平均嵌岩深度5.9m。

第二期工程施工情况，1983年1月至7月共6个月完成灌注桩82根，其中 $\varnothing 850\text{mm}$ 的加强桩有23根，普通桩33根， $\varnothing 650\text{mm}$ 有26根，平均桩长27.02m，平均嵌岩深度4.37m，采用SPJ—300型钻机3台进行施工。

二、嵌岩钻孔灌注桩设计

磷炉、烧结、磷酸、五钠四个工段的基础设计由轻工部设计院负责，为了保证质量，设计和勘察单位，密切配合，采用一桩一个小钻孔的探测方法，切实掌握各桩的地质情况。

1、关于单桩轴向受压容许承载能力的取值是一个关键设计问题。单桩承载能力的试验，参照广州市的经验进行，采用分析和经验公式的方法确定单桩轴向容许承载力。采用250号水下混凝土，其容许强度为75kg/cm²，相当于规范(TJ10—74)的 $k=1.55$ 提高为 $k=1.93$ ，则桩身承载力为

$$N = \frac{RaA + R'gA'g}{k} = \frac{145 + 7854}{1.93} = 590 \text{ 吨}$$

桩身自重 = $0.7854 \times 25.3 \times 2.5 = 50$ 吨

则 $590 - 50 = 540$ 吨，取值500吨（当灌注桩直径 $\varnothing 1000\text{mm}$ 时）

基岩强度验算， $Pa = ARj + \pi d_1 \sum Lifi$

按灌注桩基础设计与施工规程(TGJ₄—80)

已知基岩极限强度 $Rc = 8100\text{T/m}^2$

略去后面一项即忽略嵌入基岩部份的摩擦力，

$$Pa = \frac{AR}{K} = \frac{0.7854 \times 8100}{K} = \frac{6362}{K} \text{ 吨}$$

$$Rj = \frac{Rc}{K} \text{ 若 } K \text{ 用 } 6 \sim 8 \text{ 则 } Pa = 1060 \text{ 吨} \sim 795 \text{ 吨,}$$

美国的有关规定K采用4~5，但五钠厂工程实际的K值为

$$K = \frac{0.7854 \times 8100}{600} = 10.59 \text{ (桩底最大荷载} = 600 \text{ 吨)}$$

根据以上计算确定单桩 $\varnothing 1000\text{ mm}$ 和 $\varnothing 850\text{ mm}$ 容许承载力为500吨360吨,但从设计上看未考虑桩的侧壁摩擦力,也未充分利用基岩端承载力,偏于安全,但对整个工程的进度带来许多好处。

2, 桩径的确定。为了便于浇灌混凝土和保证水下混凝土的质量,桩径应大于 $\varnothing 700\text{ mm}$,从长径比要求 $\varnothing > \frac{1}{60} = \frac{30000}{60} = 500\text{ mm}$ 根据实际钻具条件定为 $\varnothing 1000\text{ mm}$ 和 $\varnothing 850\text{ mm}$ (如穿越淤泥,自重湿陷性黄土 $\frac{1}{\varnothing} \leq 40$)

3 桩身配筋及配筋长度。当计算不需要抗弯钢筋时,一般按最小含钢率配置,桩顶构造筋,伸入桩身 $3\varnothing - 5\varnothing$,根据计算需要配抗弯钢筋时,钢筋伸入桩身的长度一般为 $\frac{4}{\alpha}$,根据JGJ₄-80有关因定, $\alpha = \sqrt{\frac{5mb_0}{EI}}$ $b_0 = 0.9(1.5 \times 1 + 0.5) =$

$$1.8\text{ m} \quad I = \frac{\pi D^4}{64} = 0.0491\text{ M}^4 \quad E = 2.85 \times 10^6\text{ T/m}^2\text{ m} \quad \text{取 } 3500\text{ T/m}^4$$

计算出 $\frac{4}{\alpha} \approx 7.5\text{ m}$,本工程属于受水平力较小的高大建筑属低桩台桩基,只是基桩的配筋长度超过了 $\frac{4}{\alpha}$ 参照美国规范,在地震区钢筋伸入桩身的长度应 $\geq 10\varnothing$,因此钢筋伸入桩身的长度以 $8\text{ m} \sim 10\text{ m}$ 为宜,实际本工程配筋长度为 16 m (桩径为 $\varnothing 1000\text{ mm}$ 时)偏于保守。)

4 桩底沉淀物的限制。钻孔过程沉积在基岩面上的沉淀物,使桩底和基岩面相隔离,中间形成一层强度低的垫层,影响桩的承载力和下沉量,因此严格控制沉淀物是很重要的。本工程规定在浇灌桩底第一批水下混凝土之前,应先检查桩底基岩面上的沉淀物的厚度,控制厚度不大于 50 mm ,并及时浇灌混凝土,保证桩底混凝土与基岩相结合。

5 桩位偏移和倾斜的限制。规程规定的桩位容许偏差为 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{4}$ 桩径,倾斜度容许偏差为 1% 。鉴于本工程特点,桩径较大,单桩承载力高,采用单桩和单排双桩基数较大,因此上述规定数值对本工程均感偏大,经研究桩位容许偏差改为 20 mm ,桩的倾斜度由 1% 改为 0.5% ,以减少因偏差大产生的偏差弯距,避免减小承载力。

6 灌注桩与岩石间侧壁摩擦阻力的模拟试验。

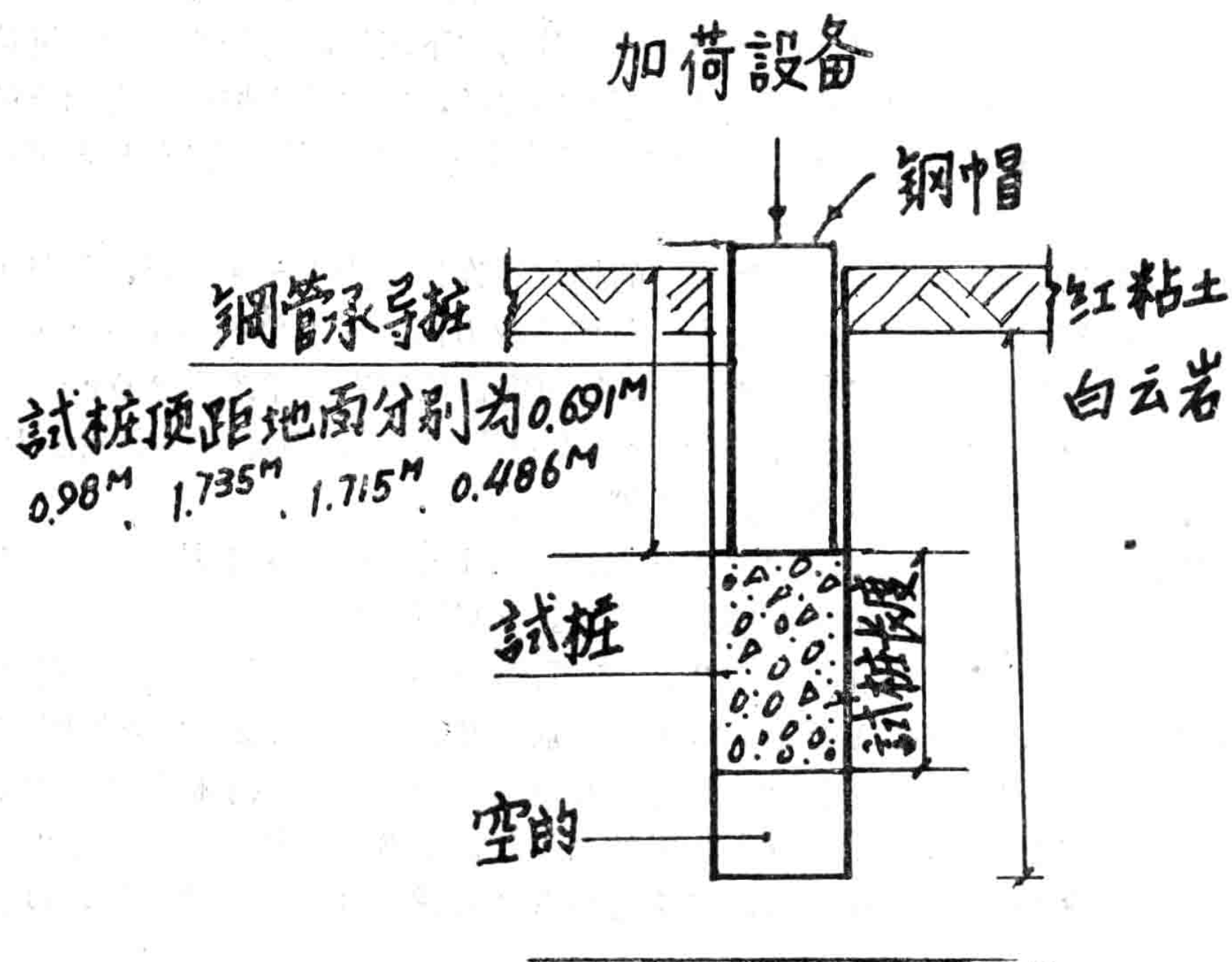
灌注桩与岩石间侧壁摩擦阻力的压桩试验,从1980年11月6日至1981年6月26日,断续进行,5根试桩结果如下表。(见下页)

试桩用汽车钻成孔,成孔直径为 28.5 厘米 ,嵌入深度稍大于试桩的直径,嵌入白云岩,试桩配筋,主筋 $\varnothing 10\text{ 毫米}$ 8根,网筋 $\varnothing 6.5\text{ 毫米}$ 组成近似方格网状。混凝土材料与实际施工材料相同,混凝土标号200号,桩孔壁模拟了桩井壁的泥浆薄膜,52号和55号试桩采用施工桩井所使用的白泥浆,53号试桩采用红粘土泥浆薄膜,为了取得有无泥浆薄膜的对比资料,51号和54号试桩孔采用清水钻进,没有泥浆薄膜。

测试中考虑了温度对量测系统的影响,对加荷设备和承导钢管桩进行变形量测。为了防止试桩桩项被压坏,桩顶安置了钢帽,桩底安 10 毫米 厚的钢板作底模板,形成纯

摩擦桩，（即桩尖无支承点）试验结果说明；1）有白泥浆膜的52号55号桩的平均比例极限为9.2公斤/厘米²，2）有红泥浆膜53号桩的比例极限为28.4公斤/厘米²，这是因红泥浆膜较簿，粘合稍紧之故。3）侧壁无泥浆膜的51号54号桩比例极限已超过30.1公斤/厘米²（由于加荷设备限制而未达到比例极限），这是混凝土与基岩胶结在一起的缘故。

试桩编号	桩径厘米	试桩长度米	岩性	桩壁条件	比例极限 τ_p (公斤/厘米 ²)	强度极限 b (公斤/厘米 ²)
51	28.5	0.310	白云岩	无泥浆膜	不小于 32.5	不小于 32.5
52	28.5	0.615	白云岩	有白泥浆膜	8.6	11.1
53	28.5	0.285	白云岩	有红泥浆膜	28.4	38.1
54	28.5	0.335	白云岩	无泥浆膜	30.1	30.1
55	28.5	0.424	白云岩	有白泥浆膜	9.8	14.9



因为52号55号试桩侧壁有白泥浆膜，这和实际的桩侧壁条件相近，因此其摩擦

力 $[\tau]$ 按下式决定,

$$\tau = \frac{\tau_p}{K} = \frac{\frac{1}{2}(8.6 + 9.8)}{1.5} = 6.1 \text{ 公斤/厘米}^2$$

式中 τ_p ——比例极限公斤/厘米²

K——安全系数选用 1.5

很明显 τ_p 和K的随侧壁条件基岩性质等而异, 此处K值取得较小, 今后应积累K值的资料, 以供实用。若今后能利用嵌岩侧壁摩阻力, 则桩底沉淀物的影响的可能变小, 甚至略去。

1982年进行二期工程时, 单桩承载能力用了较高值, 即 $\varnothing 850$ mm桩的混凝土标号由一期250号改为二期的300号, 则桩身承载能力为

$$N = \frac{1750 \times 0.567}{1.65} = 602 \text{ 吨} \quad (\varnothing 850 \text{ mm}, A = 0.567 \text{ m}^2)$$

取用设计承载能力为500吨

$$\text{基岩承载能力为 } N = \frac{10000 \times 0.567}{K} = 5670 \text{ 吨/K}$$

若基岩承载能力亦取500吨, (不考虑侧壁有利影响) 则 $K = 11.34$, 满足使用要求。

桩基按7度抗震设防, 为此设置纵横向承台拉梁, 拉梁接受拉和受压构件验算, 其内力可简化为与拉梁所连桩中最大轴力的 $1/40$ 计算。

实际采用的桩基见下表

桩 径	$\varnothing 1000^{\text{mm}}$	$\varnothing 850^{\text{mm}}$	$\varnothing 850^{\text{mm}}$ (加强)	$\varnothing 650^{\text{mm}}$
单桩承载能力	500吨	350吨	500吨	210吨

三钻孔灌注桩基础施工

成孔与水下浇灌混凝土是施工灌注桩的关键工艺, 也是保证灌注桩工程质量的重要基础工作。

1、成孔

1) 准备工作: ①平整场地, ②定桩位, ③下护筒 (定位后用人工挖出直径1.3米, 深1.4米小园井, 将护筒吊放到小园井内, 把位置校对准确, 垂直, 外围填土夯实, 护筒口高出地面18厘米, 护筒直径分1000 mm, 900 mm, 700 mm三种, 均高1.6米, 以6毫米钢板卷制焊接, 两端外补强, 一端开 18×20 厘米的溢浆口), ④布置泥浆泵 (分散供浆和集中供浆均可, 泥浆泵用BW850, 如用排量较小的BWT540/12泵时, 可用二台泵供一台钻机使用。⑤钻机改进和安置; 改进

SPJ—300型钻机，将原来转盘的通孔和转盘下钢梁的井字型方孔不能通过大口径钻具，故把转盘下二根纵向长钢梁改为四根，并加大前半部的距离，为了装拆方便，用了四个套桂顶紧装置，用以固定小横梁与纵梁。钻机安装，机座下铺设枕木，宜用整体搬遇，用推土机或20吨汽车吊拖至就位点。

2) 钻机及钻具的配套和改造

①钻机用SPJ—300型，柴油机4115—65马力和4126—80马力，泥浆泵BW850，钻塔13米高，A型钻杆 $\varnothing 89$ mm外丝。

②钻具和钻头，钻头和单管钻具是自行设计的。

i 齿爪刮刀钻头：是供土层钻进用的，直径分1米、0.85米，和0.65米。长均为2.4米，尖角为 120° 的三翼或四翼齿爪刮刀，钻土层时钻进效率达每台班进尺13.48米。

ii 园筒叶片或钻头，用于钻石牙，扫平桩孔底部和清孔。 $\varnothing 1000$ mm桩径用0.98米钻头， $\varnothing 850$ mm桩径用0.83米砖头， $\varnothing 650$ mm桩径用0.63米钻头，外管用14毫米钢板卷制，长1.2米—1.6米，底面焊YG8或YG6硬质合金并开其水口，内管为 $\varnothing 377 \times 1.1$ 无缝钢管，长3.2~3.5米，底面银焊硬质合金，也开其水口，钻头重1.2—0.95吨，由于外管长，导正作用好，能适应遇倾斜岩面时的防斜要求。

iii 锥形刮刀钻头：专供钻基岩使用，直径分别为0.98米、0.83米和0.63米，长1.2~1.6米，外管均用14毫米钢板卷制，底板银焊硬质合金并开其水口，称之为外钻头，内管为 $\varnothing 325 \times 1.0$ 无缝钢管，长3~3.5米，钻头重1—0.85吨，由于重量大，下部是锥形，钻进比较平稳，但钻进中崩裂的硬质合金往往集中于内钻头所占的小孔中，造成磨损快，进尺慢，为此常用 $\varnothing 325$ 取岩芯钻头取出岩芯，然后再用锥形刮刀钻扩孔的办法加以解决。

3) 钻进工艺流程

测定桩位→埋设护筒→钻机就位→开孔→土层钻进→钻倾斜岩面→钻基岩→孔底扫平→清孔→验收。

4) 钻进技术参数

①压力；钻土层时轴心压力约0.5~0.6吨，钻基岩时为1.5~1.8吨。

②转速；钻土层一般用70—120转/分，钻基岩时为40—120转/分。

③泥浆排量，BW850排量为850/600升/分。

④泥浆性能；大部件桩孔是自然造浆，开孔时短期内用清水，钻孔几米后，就会变成性能良好的泥浆，只需在钻进过程中调节粘度。一般是钻进时循环带钻渣的泥浆要稠一些，清孔完毕时的泥浆要稀一些，便于水下混凝土浇灌，施工时泥浆性能见下表（见下页）

泥浆性能是施工时重要问题，上列数字与规范（JGJ₄—80）3—2—19条规定基本相符合。

5) 钻进中遇到的问题及其处理方法

①石芽、石笋多，基岩倾斜度大，易造成孔斜。

施工单位	粘 度 (秒)	比 重		含 沙 量 %	失 水 量
		清 孔 时	钻 孔 时		
石油	25—30	1.15	1.18—1.25	2—2.8	未 测 定
水文	22	1.10	1.15	不 尺 于 4	" "
山东	19—20	1.10	1.14—1.15	" "	" "
桥工	20—25	不超过 1.15	1.15—1.30	" "	" "

该地区实际是“地下石林”岩面倾斜度达 40° — 50° ，当用鸟戛斯钻机（冲击式钻机）试钻时，钻头自然向土层或岩石较软一面偏倾；造成斜孔，回填重冲，加大药量作水下爆破都无济于事，由于多次纠偏，成孔周期拖得很长，多到二十天打成一孔，并加大了扩孔率，试冲的六个桩孔，最大的 418% 平均为 213.4% ，要多耗大量混凝土，从成孔周期，成孔质量证明冲击式钻机，不实用于该地区。在采用旋转式钻机，由于钻具钢性好，钻具与钻头的自重大（牙轮钻一般为 $5—6$ 吨，SPJ—300型钻机一般为 $1—1.3$ 吨）有较大压力，如操作得当，一般不易偏孔，预防的方法是钻机保持水平位置，钻杆保持垂直，当土层钻进距预见基岩 $1—1.5$ 米时更换钻头，用园筒叶片式钻头慢速钻进，一直到钻完石芽钻出一个基岩平面后再改用锥型刮刀钻头钻进，至孔底呈锥形。根据需要，换用取岩芯钻头，一次或多次分段取出岩芯，然后用锥形刮刀钻头扩孔至距设计孔底 $0.5—0.8$ 米时，改用园筒叶片钻头扫平孔底，达到孔底标高后清孔。

②岩层钻进速度慢

该工程曾使用过三种钻机，即冲击式钻机，SPJ—300型旋转式水文钻机和石油牙轮钻机（3200型），冲击钻不能保证桩孔垂直度，试桩后即停止使用。牙轮钻头使用情况正常。而SPJ—300型钻机是该工地主要机种，在十三台中占九台，在第一期235根桩孔中SPJ—300型钻机完成163孔，但SPJ—300型钻机额定最大钻孔直径为 500mm ，而需要钻孔直径是 1000mm 和 850mm ，采取措施是按井下不同的地质情况，采取不同的转速，加大钻头重量从 500 公斤提高到 $1000—1300$ 公斤，增加钻头长度从 1 米增加到 2 米以减少摆动，中间设储沙器，改进钻头锥度，控制在 $30^{\circ}—35^{\circ}$ ，必要时用土办法加压钻进，加强管理减少停机时间。采取上述措施后，加快三至五天就可打成一孔。

③桩孔孔壁坍塌

孔壁坍塌原因：一是地质异常，如遇土洞，溶洞和破碎带，这是少数。二是技术水平低，管理不严，特别是泥浆性能不好所造成的。通过总结认识到泥浆是钻井的血液、泥浆管理、泥浆配制得当，性能良好，对于保护井壁，防止坍塌扩孔，带出钻渣，减少

机械事故，节约混凝土等等都是关键。实践证明，主要使用泥浆比重（钻孔1.15—1.2，清孔1.1以上），粘度（19—25秒），含沙率（2—4%）失水率（少于20CC）。遇到地质情况复杂的孔，要适当加入C、M、C、石灰、碳酸钠、氯化钙等处理剂以改善泥浆性能。（如添加石灰8%。碳酸钠10%，氯化钠15%）采用上述泥浆能保证孔壁稳定。

④卡钻

卡钻多是基岩破碎带掉块造成的，少数在孔底被卡或钻头提了一定高度后被碎石，浮石卡住，处理办法是一用300公斤重吊锤向上打，二用起重机或钻机提升装置顶拔，三用千斤顶（35吨—75吨）顶卡，前两者均辅以水平转动。

⑤钻具断脱

钻具断脱多发生在钻杆细弱，丝扣磨损等部位。处理方法，一用公锥，新锁接头打捞，二用磁钢吸落物，三是钻头断在孔底用特别大勾子套钩。

⑥孔内落物：落物大部件是钢铁制品，小的用磁铁打捞，大的用大于落物外形尺寸的工具去套取。

6) 桩孔质量检验和测试工具

①桩孔中心平面位移，设计要求小于20mm成桩不超过50mm，实际施工第一批235根中小于50mm的195根，大于50毫米的39根。

②孔底沉淀土：清孔完毕，验收时测一次，下好钢筋笼，套管后开始浇灌混凝土前再复测一次，一般都能满足小于50毫米，规范要求 ≤ 100 毫米，质量检验抽样桩钻取桩芯观察，桩底混凝土与基岩都胶结在一起。

③桩孔斜度：用自制氢氟酸测斜仪检测，在一个直径与孔径相适应，长3米的导正架下端，连接装玻管的特制接头，玻管内径为46毫米，装稀氢氟酸后密封用钢绳垂直吊入孔内，保持水平位置，经30分钟后取出观察腐蚀的斜度，一般不超过5% $< 10\%$ ，但精度不够只能取得近似值，第二期工程试用国产的JJX—9型井斜仪来测定，比氢氟酸测斜仪要精确些，但仍保证不了5%的精确度。

④孔底标高 用测锤检测，复测时须注意测绳的干湿度不同所产生的误差，因此要用鉴定过的钢皮尺比长复核。

⑤不同钻孔成孔直径的比较，石油牙轮钻施工的桩29根和SPJ—300型钻机施工的桩15根在接近承台底部量出园周，折合成直径，结果是石油牙轮钻成孔的实际桩径为设计桩径的109.53%，SPJ—300型钻机成孔的实际桩径为设计桩径的108.56%，比前者小0.9%，主要原因是SPJ—300型钻机钻头长，井下摆动小，所以效果较好。

2、水下混凝土的施工

1) 浇灌设备与机具。配料、拌和、水平运输机械与一般施工相同，垂直运输机械用12吨履带吊车，灌注机械用导管40节，内径 $\varnothing 240 \times 2000$ 毫米，猫头鹰阀门2个，漏斗1M³的2个，储料吊斗0.8M³4个，测绳1付，测锤重3公斤。

2) 混凝土材料的选择。水泥，宜采用525或625号普通硅酸盐水泥。粗骨料用1—3公分卵石或碎石均可，如石料粒径过大易堵导管。细骨料，宜用含泥量少于

5 %的中粗砂。

3) 钢筋选择和钢筋骨架。钢筋宜用光面钢筋使表面粘附的泥浆最少, 主筋用 12 根 $\varnothing 19$ 螺旋箍筋为 $\varnothing 10 \times 300$ 。

钢筋箍(即骨架)的长度, 当孔深 < 18 米时用 12 米, 当孔深 > 18 米时用 16 米钢筋笼的制作采用内箍筋成型法不用卡板, 用 $\varnothing 16$ 钢筋, 根据骨架内径制成加强钢筋, 间距为 2000 毫米, 在其外侧用腊笔标出主筋位置, 依次将主筋焊在加强箍筋上, 最后套入螺旋箍筋扎牢即成。

4) 钢筋骨架的安装。

①根据承台标高焊上 4 根 $\varnothing 19$ 的吊筋。

②用 2 根长度 > 5 米木杠对称地绑扎在钢筋笼的上段, 保证钢筋笼起吊时不发生太大的弯曲变形。

③用履带吊车将钢筋笼吊运至钻孔附近。

④采用一点起吊钢筋笼, 吊点设在钢筋笼全长五分之一处的上端, 用铅丝将加固木杠和主筋栓牢。

⑤钢筋笼下放。对正孔口, 下放时使骨架居中, 尽量不碰撞孔壁, 徐徐将钢筋骨架下放, 当骨架吊点接近孔口时停止下放, 穿入两根横杆搁住钢筋笼, 然后将吊点移至吊筋顶部并拆除加固木杆继续下放, 当下放到预定标高, 将骨架对准孔口中心, 把吊筋挂在定位横杆上扎牢。

⑥如有个别钢筋骨架无法放到预定标高, (当孔内有活动石头和孔斜时, 才会出现这种情况) 则钢筋笼埋入长度不少于 10 倍桩径为原则, 或再提出钢筋笼重新清孔。

5) 导管下放

①钢筋笼下放完毕后, 使用钻机的提升装置, 或履带吊车将组装好的导管分组放入钻孔内, 直到导管下口离孔底 0.2 米—0.3 米为止, 最后装上猫头鹰式阀门及漏斗。

②导管总长应大于孔深 1—3 米, 在混凝土阀门以上再安装 1—2 节导管, (每节长 2 米) 以便增大混凝土储量和利用高差所产生的位能来浇灌, 有较大溶洞时, 阀门以上可装三节(6 m)导管。

③导管组装时, 应认真检查胶皮垫圈是否老化或损坏, 法兰盘的螺栓是否拧紧。

6) 孔底沉淀物复查。重复用前法测定沉淀物, 如果孔深复测结果与验孔时大体相同, 无异常情况, 证明下钢筋笼时未发生孔壁坍塌, 则可下达“开拌”混凝土命令, 否则应立即提出导管及钢筋笼重新清孔, 并作第二次检查。

7) 水下混凝土浇灌

①混凝土坍落度为 20 公分 $\pm$ 2 公分, 加减水剂来解决。

②水下混凝土浇灌采用直升导管法施工, 将混凝土用机动小翻斗车运至两个储料吊斗中, 再由履带吊车流将盛满混凝土的储料吊斗提升并倾入导管上端的漏斗中, 当第二储料吊斗的混凝土吊运至漏斗上方, 准备停当之后, 下达浇灌指令, 在打开猫头鹰式阀门的同时, 将第二吊斗混凝土放入漏斗中, 使两个吊斗的混凝土总量约 $1.8 M^3$, 连续通过导管注入孔内。此时如果孔内泥浆猛烈上翻, 埋管不小于 0.5 米后, 即可进入正常浇灌, 直至混凝土面大于设计标高 0.5—1 米时为止。从验孔完毕, 到第一斗混凝

土浇灌，全部准备工作时间不应超过3—4小时，时间过长，孔底沉淀会增加。混凝土浇灌时，每浇灌两斗混凝土，用测绳测量混凝土面标高一次，并据此提一次导管，导管埋深控制在1.5—6米的范围内，一般一斗埋深0.5—1米，平常浇灌保持在1—3米，浇灌有较大溶洞的桩孔时，采用深埋慢提操作，导管可埋深3—6米，以不影响混凝土的浇灌为准。每次灌入混凝土都要注意泥浆翻出是否正常，有无掺有混凝土浆或其他异常排出物，并要有水下混凝土浇灌记录表，表格如下：

时 间	灌入体积 m ³	混凝土面高度 m	导管深度 m	埋管深度 m	附 注

③工效。施工初期每天浇灌一根桩，改进施工管理后，工效显著提高，每天可浇灌2—3根，个别达到5根。

④混凝土质量控制

i严格控制水泥、碎石、沙、水，减水剂的质量及配合比，坚持过秤，每根桩取试件两组，分别作7天及28天抗压强度试验，每班抽查坍落度2—3次。

ii混凝土配制比设计标号提高一级，采用300号混凝土，为使混凝土有较好和易性，混凝土含沙率采用45—50%，水灰比0.5，坍落度20公分±2公分（加减水剂来解决）

iii为了查明孔底沉淀厚度及核对孔内水下混凝土的实际强度，有3%的桩作了钻孔取桩芯检验。

8) 浇灌水下混凝土时遇到的问题和处理方法。

①浇灌有较大溶洞的桩孔是重大难题，第一期216个桩基钻探孔中遇到溶洞的就有97个孔，共出现溶洞167个，高为0.70—4.65米，个别为10.6—10.7米，还有垂直状的洞隙有4个是空的无充填物，其余多数被粘土充填，在浇灌有较大溶洞的桩孔时，混凝土浆容易流失，轻则耗费大量混凝土，重则因随浇随流，浇不上来或浇灌时间过长混凝土已初凝而造成废桩。对付溶洞的措施有七个要点，简述如下：

i吃透，吃透地质资料，掌握本桩孔溶洞的位置和大小，钻到接近溶洞时就要调整钻机转速，压力，防止钻头蹿跳和卡钻。还要作好井漏泥浆大量流失的应急准备。交接班时要详细交待给下一班工作的同志，以资注意掌握。

ii备足，混凝土数量，保证不中断施工，不留隐患。

iii加稠，指清孔时的泥浆比重加大，使它起良好的护壁和堵漏作用。

iv埋深、导管埋入混凝土中，遇有溶洞时，导管加深埋到3—6米，以不影响浇灌