

宝钢施工技术专题总结

BAOGANG SHIGONG JISHU ZHUANTI ZONGJIE

土建



上海宝山钢铁总厂工程指挥部

宝钢施工技术专题总结

土 建 2

上海宝山钢铁总厂工程指挥部

目 录

井点降水在宝钢烧结工程中的应用.....	宝钢十三冶分指挥部	陈俊杰	(1)
电渗-喷射井点降水	何汉灏	刘哲钧	秦绍元 (11)
宝钢初轧工程井点降水.....	宝钢二十冶分指挥部	陈幼雄	曲永毅 吴继祖 (19)

井点降水在宝钢烧结工程中的应用

宝钢十三冶分指挥部 陈俊杰

宝钢厂区地处长江口三角洲淤积平原,主要地层为滨海相沉积物,地下水位较浅,一般基坑开挖1米左右即可见水。地基土为天然软弱土,据钻探资料,在上部60米的粘性土层中,深度2米至21米为淤泥质亚粘土(层厚6~8米)和淤泥质粘土(层厚10~12米),具有含水量高(一般41~48%,最大60%),孔隙比大(一般1.13~1.36,最大1.7),压缩系数高(一般0.06~0.09,最大0.17),抗剪强度低(一般0.2~0.27公斤/厘米²),渗透系数小(淤泥质亚粘土为 $1 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$ 厘米/秒,淤泥质粘土为 1×10^{-7} 厘米/秒),变形模量小($E_s = 25 \sim 40$ 公斤/厘米²),承载能力低($R = 0.7 \sim 0.9$ 公斤/厘米²),沉降稳定时间长(半年至数年)的特点,是宝钢地基中最差的土层,而绝大多数基础和地下构筑物恰恰都座落在这两个土层上。钢铁厂的地下工程一般又深又大,因此,搞好人工降水,是建设宝钢必须解决的重大技术关键。

井点系统降低地下水位的方法,施工简便,操作较易掌握,降水后基坑无水,土质坚实,开挖后边坡稳定,可防止流沙危害,确保地基质量和施工安全,减少土方工程量,节省支撑工料,故成为在含水透水性土层中施工的一个有效方法。

由于工作原理、构造和降水效果不同,井点一般分为普通井点(亦称轻型井点)和喷射井点(因工作介质不同,又分为喷水井点和喷气井点,在宝钢工地上使用的为喷水井点)。二者主要区别是,前者是靠真空泵抽水造成真空,将地下水吸上地面,后者是靠压力水(或气、汽)压入井点的内外管间,至底部通过喷嘴喷射,在滤头周围形成真空,通过混合室将地下水带上地面。

井点降水的效果,与地质的均匀性,含水层的性质、厚度、补给条件及土的渗透性等水文地质因素和井点设备的性能、构造、布置及运行管理等条件有关。要想达到预期的效果,应事先详细了解地质状况和工程要求,作出合理的设计和加强运行管理。其中,井点设备本身质量的优劣和施工质量的好坏,都对降水效果有直接影响。

一、井点降水试验

为了验证在宝钢厂区使用井点降水的有效性和取得渗透系数、影响半径以及降水漏斗曲线等基本技术参数,1982年2月27日技术谈判中,新日铁技术组提出用普通井点做扬水试验的要求,在宝钢工程指挥部的统一安排下,我公司在上海市第三建筑工程公司的配合下,于1978年4月26日至6月9日在厂区现场选点进行了两组轻型井点的降水试验,并提出了试验报告。试验地点选在练祁河与原月狮路之间,试验点位置见图1。试验结果如下:

(1) 8米长的普通井点在淤泥质亚粘土层中降水是有效的,宝钢工程施工可以采用井点法。普通井点间距可以由0.8米扩大为2米。一级最大降深可达7米,降水漏斗曲线见图2。地下水位曲线和涌水量的稳定时间约在开始降水后的第11~12天。

(2) 根据稳定水位的实测数据,求得宝钢厂区淤泥质亚粘土层的渗透系数 $K = 1 \times 10^{-4} \sim 7 \times 10^{-4}$ 厘米/秒,抽水影响半径 $R = 90 \sim 100$ 米。渗透系数的波动与降水地点土壤颗粒组成和含砂率有关。

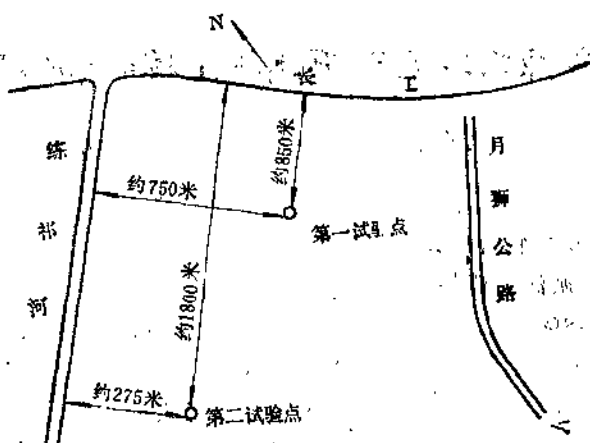


图 1 试验点的平面位置

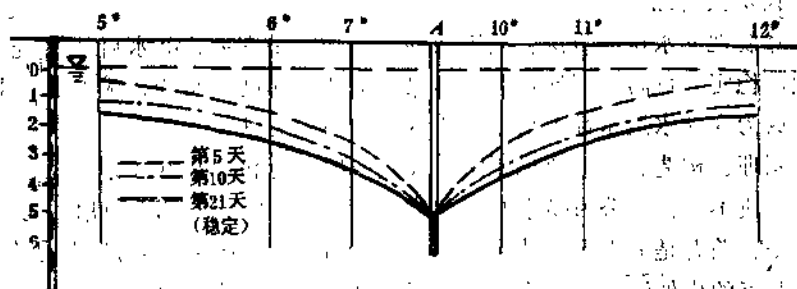


图 2 第二试验点A组降水漏斗曲线

宝钢的一级轻型井点降水，均为潜水非完整井的干扰井群，其渗透系数的计算方程，选用福尔赫格依麦尔双观测孔干扰井的计算公式：

$$K = \frac{0.73Q \lg \frac{x_1'' x_2'' \dots x_n''}{x_1' x_2' \dots x_n'}}{n (y_2^2 - y_1^2)}$$

式中

Q ——一组井点的总流量（米³/时）；

$x_1', x_2', \dots, x_n'$ ——自每个井点到水位高度为 y_1 的观测孔的水平距离（米）；

$x_1'', x_2'', \dots, x_n''$ ——自每个井点到水位高度为 y_2 的观测孔的水平距离（米）；

y_1, y_2 ——分别为两个观测孔中自“有效带”底（使用时假设为至淤泥质粘土层顶面）算起的水位高度；

n ——一组井点的数目。

选用凯尔盖斯修改的裘布衣公式求影响半径：

$$\lg R = \frac{S_1(2H - S_1) \lg x_2 - S_2(2H - S_2) \lg x_1}{(S_1 - S_2)(2H - S_1 - S_2)}$$

式中 H ——潜水含水层的厚度（米），即原始静水位至不透水层顶面的垂直距离（使用时

假定淤泥质粘土层为不透水层)；

x_1, x_2 ——分别为观测孔1和观测孔2至井点中心轴的距离(米)；

S_1, S_2 ——分别为观测孔1和观测孔2的水位降低值(米)。

公式中符号的意义参见图3。

(3) 由于宝钢淤泥质亚粘土层中粘土和粉土的含量约占90%，土壤颗粒极细，所以井点滤头用一层900目/厘米²尼龙布和一、二层塑料窗纱包裹做过滤层已显不够，土壤细颗粒极易涌入井点管内，造成降水效率下降甚至堵塞。我们建议在注意井点滤头部分填砂质量的同时，提高滤网的密度，在滤头下增加1米长的沉砂管段，并注意井点系统的组装程序，缩短井点管沉设与启动的时间间隔，以免细颗粒沉积在井点管内或地面管网中。

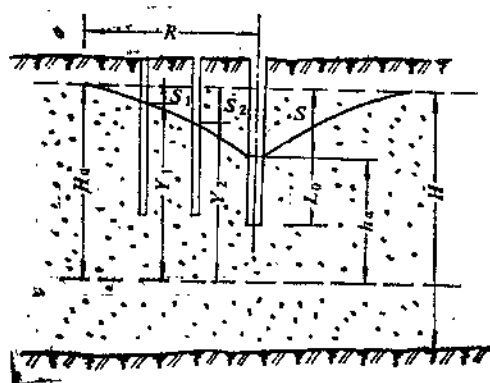


图3 不完整井的降水漏斗及其含水层的有效厚度

二、井点的选用

宝钢工程在一期工程施工中逐步形成了以井点降水作为唯一人工降水方法的井点降水体制，设备、技术日臻完善。预计在二期工程施工中仍将作为主要降水方法发挥作用。

施工开始阶段，普通井点的真空设备有真空泵、隔膜泵，后来逐渐被射流泵简易井点所代替，这是因为射流泵构造简单，经久耐用，维护方便，费用低廉。

喷水井点的应用，在宝钢现场有一个实践认识和推广的过程， $\phi 2.5''$ 喷水井点的主要技术性能如下：

外管直径	$\phi 2.5''$ ；	喷嘴至喉管始端距离	25毫米
滤管直径	$\phi 2.5''$ ；	喉管长	45毫米
内管直径	$\phi 1.5''$ ；	扩散管锥角	6°
芯管直径	$\phi 1.5''$ ；	工作水量	6米 ³ /小时
喷嘴直径	$\phi 7$ 毫米；	吸入水量	4.5米 ³ /小时
喉管直径	$\phi 14$ 毫米；	工作水压力	8公斤/厘米 ²
喉管与喷嘴			

直径比 2；	降水深度	24米
--------	------	-----

适用土层

粉细砂层、亚砂土， $K=1\sim 10$ 米/天

亚粘土层 $K=0.1\sim 1$ 米/天

1979年二季度，十三冶分指挥部在经四路“M”部电缆暗渠工程施工中较早采用了喷水井点。该工程最深处-10.12米，平面范围约20×20米。井点用10米和12米两种长度，间距2米，一间一半封闭式配置，效果较好，布置参见图4，最初几天地下水位变化情况见表1。

1号观测孔因受附近已施工 $\phi 2.46$ 米雨水排水管道基础下碎石垫层中的大量补给水的影响，水位迟迟不再下降，后采取措施，将碎石垫层中的补给水堵截排出，水位很快自-5.40米降至-8.10米，具备了挖土条件。由此证明，宝钢厂区采用喷水井点降水是成功的。以“M”部工程为例，它与两级轻型井点相比，缩短了下井点、降水、挖土总工期（约为两级轻型井

点工期的三分之二），减少土方挖掘量25%（约450立方米）。以一级喷水井点代替三级轻型井点，其优越性更为显著。

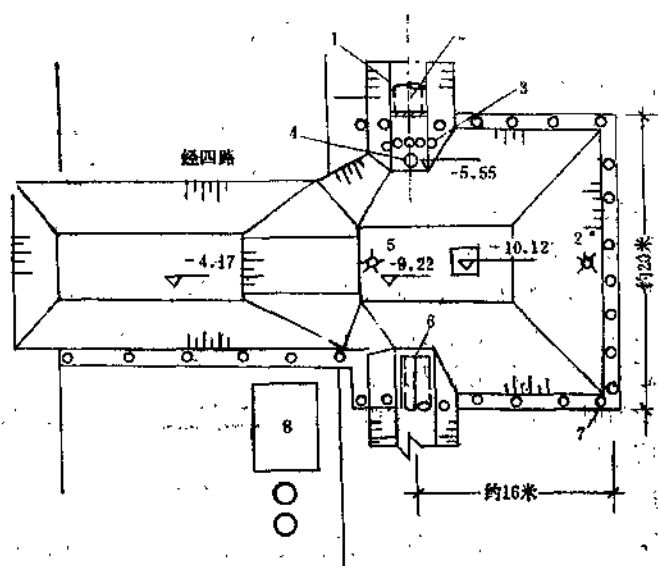


图 4 喷水井点降水平面布置

1—管沟尚未回填；2— $\phi 2.46$ 毫米管下碎石垫层出水；3—筑坝挡水；4—截水井排水；5—1号观测井；6— $\phi 2.46$ 毫米两排水管（已施工）；7—喷水井点；8—井点泵房

表 1 井点实测地下水位

日 期	实测地下水位(米)		说 明
	1 号观测孔	2 号观测孔	
6月15日17时	-4.90	-6.20	6月15日上午开始抽水
6月16日13时	-5.22	-8.14	16日13时20分~14时25分断电停泵
6月16日15时	-5.13	-7.87	17日1时35分~2时35分断电停泵
6月17日15时	-5.23	-7.54	
6月18日17时	-5.40	-8.55	

有关井点降水的设计计算，目前理论计算与实际应用还有一定距离，公式繁杂，应用不便，计算方法至今不够完善。主要步骤不外乎依据水文地质资料和扬水试验提供的技术参数（诸如土壤的渗透系数、降水影响半径、井点管极限涌水量、含水层计算厚度等），结合工程实际（降水范围、深度要求），在求得地下水总涌水量和单根井点涌水能力（群井互相作用下的平均涌水量）的前提下确定井点的类型、数量、间距、长度以及平面布置。实际上，在工作中往往不通过这种烦琐计算，而是依据降水试验取得的技术参数和工程实践经验制定出切合实际的降水方案。

降、排水方案的确定，既要针对工程特点，也要顾及施工季节，一般情况下，基深等于

或小于-2.5米时,可用基坑开挖、集水井明排水的办法解决,-4米以内的小型基坑也可照此办理,但要快速施工。

1. 轻型井点的选定

采用轻型井点降水时,应视基坑大小、深度、工程地质水文地质情况、工程性质和降水深度,选择适当的布置方案。基坑或沟槽宽度小于6米,且降深不超过5米时,一般可用单排井点,基坑或沟槽宽度大于6米,宜采用双排井点。基坑面积较大时,宜采用环形布置;降深超过5米时,宜采用二级井点或一级喷水井点。轻型井点间距可用1.6~2.0米,装设轻型井点时,应防止接头漏气。

2. 喷水井点的选定

降深超过6.5米时,宜使用喷水井点。基坑宽度小于10米时,井点可作单排布置;大于10米时,作双排布置。基坑面积较大时,宜采用环状布置。井点间距,我们由2米扩大到4米,效果较好,个别工程用过6米,我们认为还是4米为佳。采用环状布置方案时,进出口(道路)处的井点间距,轻型井点用4米,喷水井点用7米,都未出过问题。

3. 井点管长度的确定

井点管的埋深是根据降水深度要求确定的。井点管长度用简便计算方法确定(见图5)

$$L \geq h_1 + H + h_2 + iB + \text{滤头长度}$$

式中 L ——井点管全长(米);

h_1 ——井点露出地面的高度(米);

H ——自地面至基坑中央最深挖掘面的深度(米);

h_2 ——基坑中央最深挖掘面至降水曲线最高点的安全距离(一般取0.5~1.0米);

i ——降水曲线形成的坡度,根据扬水试验和工程实测取得。在宝钢厂区,封闭降水区以内取1/12~1/15,封闭降水区以外取1/8~1/10;

B ——井点至基坑中央的短边距离(米)。

井点管与基坑上口边缘距离,一般取1米左右。

井点降水开始运行后,基坑开始挖土时间的确定,有观测孔的可以参照观测孔内的水位变化;未设观测孔的,根据试验,降水漏斗曲线大约在降水后的第十一天至第十二天才基本稳定。但在实际应用中,如果井点系统运行正常,一般轻型井点3~5天,喷水井点7天左右即可开始挖土。

三、井点间距的扩大

根据上海地区实践和有关规范规定,井点间距:轻型井点取0.8~1.6米,喷水井点取2~3米。

通过宝钢降水试验和工程实践,我们认为井点间距可以适当扩大,以节省降水费用。对轻型井点取1.6~2米(受上海市供应的干管井点接口0.8米的限制,有时不得不用1.6米的距离);对喷水井点,我公司以往在太原亚粘土层中采用6米,在宝钢经四路“M”部电缆暗渠

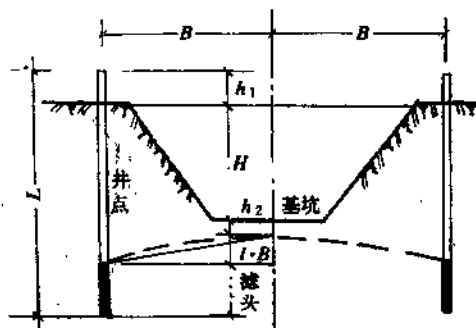


图5 井点长度确定示意图

水时,发现相距2米处已被断开的井点上口仍有很大吸力。可见单根喷水井点形成的地下“真空帷幕”,宽度不止2米,而在4米以上,故在宝钢地质条件下采用了4米间距。这样,比原间距2米节省一半井点,经济效果显著。于是,从1979年四季度开始,先后在纬三路电缆暗渠的B₂、A₅等加深部位(深度-7.28~-9.17米)、烧结200米主烟囱基础(降水面积79×79米)、主电除尘基础(降水面积67×105米,最深-6.5米)、环冷机基础(降水面积 $\phi 69.5$ 米,最深-7.0米)等较大较深的地下工程施工中成功地应用了4米间距,进一步确定4米间距为最优间距。

在这些工程中,使用的都是长度为8~12米的喷水井点,基坑深度基本上未超出宝钢第二土层——淤泥质亚粘土层。喷水动力采用6sh6型离心水泵,工作压力6~7公斤/厘米²,每只泵带36根井点。泵和干管的联接方法见图6。

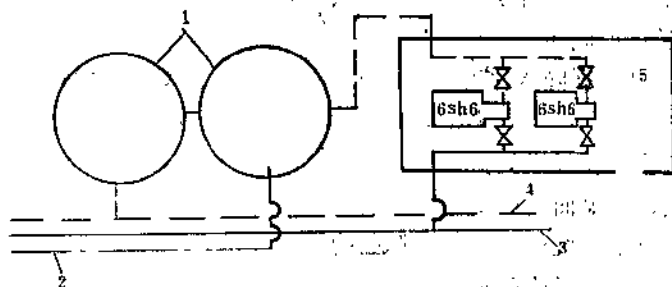


图6 喷水井点泵和干管联接

1—水箱;2—补给水管 $\phi 65$ 毫米;3—给水总管 $\phi 150$ 毫米;4—回水总管 $\phi 150$ 毫米;5—泵房

烧结200米烟囱基础和主电除尘以及电缆暗渠喷水井点降水布置和实测数据见图7~图11。

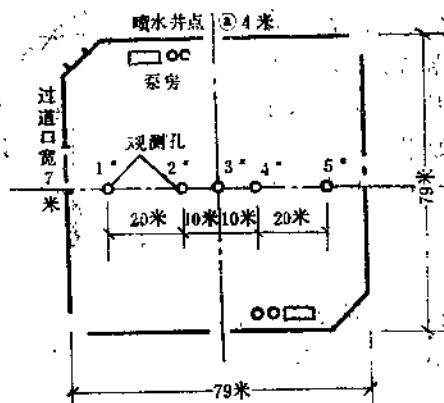


图7 烟囱基础井点布置

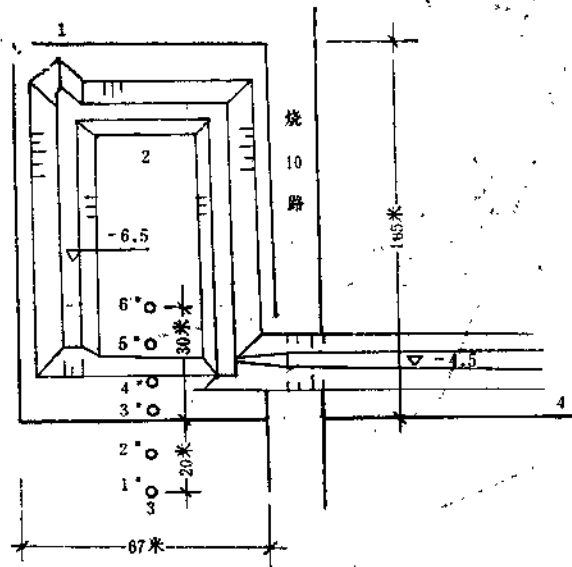


图 8 烧结主电除尘及电缆内井点布置

1—两组喷水井点, $L=10$ 米, $\phi 4$ 米; 2—主电除尘基础; 3—观测孔; 4—一组轻型井点

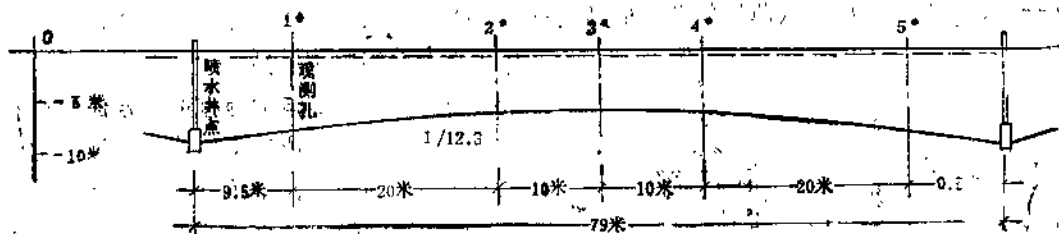


图 9 200米烟囱基础降水曲线

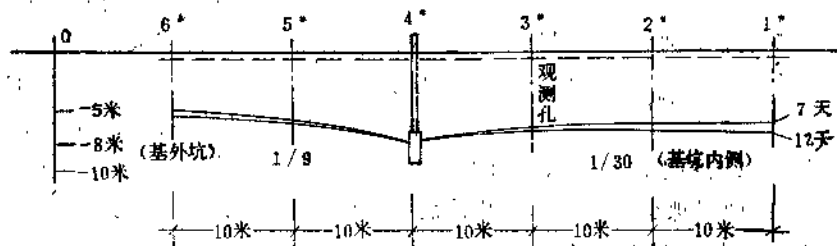


图 10 烧结主电除尘及电缆沟降水曲线

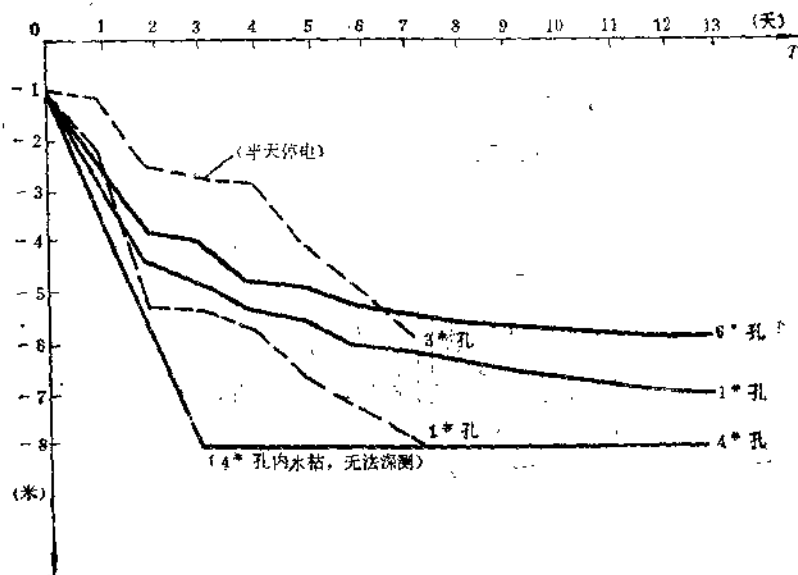


图 11 喷水井点降水T-S曲线两例

——为主电除尘和电缆沟区降水的T-S曲线;
 ——为200米烟囱基础降水的T-S曲线

第三层土即淤泥质粘土层的降水效果问题, 由于一期工程中未遇到深埋于这个土层的深基, 故无实践经验。我们认为, 淤泥质粘土基本上是不透水的(渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-7}$ 厘米/秒), 虽然其中夹有很多层理状薄层粉砂, 但砂层极薄, 含水量不大, 井点降水可以防止流沙, 预计4米井点间距可以满足排水要求。

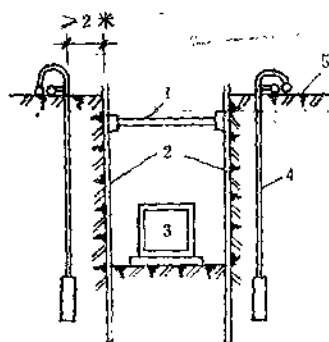


图 12 喷水井点与钢板桩配合使用

1—支顶; 2—钢板桩; 3—暗渠;
 4—喷水井点; 5—道路

四、喷水井点与钢板桩的配合使用

在一些深基础或地下构筑物的施工中, 由于平面条件的限制, 基坑不允许放坡大开挖, 这时就会碰到喷水井点与钢板桩同时并用问题, 如平行于纬三路、经四路的电缆暗渠加深部位都采用了这种办法, 见图12。

这里碰到两个问题: 一是先打桩, 还是先下井点抽水; 二是井点管和钢板桩的距离多大为合适。考虑到钢板桩会阻断地下水的流通, 我们采用先降水后打钢板桩的方案, 实践证明, 这样做是正确的。至于井点和板桩距离, 如太小, 下桩产生倾斜, 有可能在地下将井点

碰坏(我们已发生过这种事故); 太大可能会破坏正式道路, 故工程上一般取1.5米。事实证明, 1.5米的距离似仍嫌小。因为基坑开挖后, 钢板桩承受土壤强大侧压力, 多少总会有一些变形和位移, 同时喷水井点抽水, 土壤固结下沉, 使岸边土体产生裂缝; 再加上部分钢板桩打入时倾斜, 与井点间的水平距离缩小, 造成一些井点漏气, “真空帷幕”被破坏, 井点降水效率明显下降。附近若有贮水丰富的沟渠或地下潜水层, 地下水通过土壤裂隙和钢板

桩间隙侵入基坑，将给施工带来困难。为避免上述弊端，除采取有效措施，加强钢板桩的支顶工作，消除附近有害补给水源外，适当增大井点和钢板桩的间距亦是必要的，建议取2米或2米以上。

五、观测孔的失效分析

在降水试验和较重要的地下工程降水施工中，设置了几处观测孔，用以实测数据，掌握地下水位的实际变化情况。但有时出现观测孔内水位静止不动。根据我们的实践，主要有以下三种情况：

1. 观测孔滤头被泥砂淤死

井点管和观测孔的下沉，一般采用高压水冲孔、下管、管外填砂的工序。土孔冲好后，将管子放进孔内时，若不当心，会下过头，管子将没入含泥量达百分之十几以上的冲孔泥浆中，管内灌满泥浆，泥砂下沉淤积在滤头内，少则降低滤头的滤水效果，多则将滤头全部堵死，失去透水作用。所以，下管子时要小心，不要使管口没入泥浆或采用木塞临时塞住管口，防止大量泥浆灌入。滤头纱网孔眼太大，泥浆也会透过纱网进入管内，造成淤积，这就要靠加密纱网来解决，但是，最好的办法还是在管子的滤头下部增加约1米长的沉泥管段。

2. 观测孔埋设较深

滤头深埋在淤泥质粘土层内，管内水位降至淤泥质亚粘土层底部后，不再有明显下降。这是因为淤泥质粘土层透水性小（特别是在少有薄砂夹层的部位），观测孔内存水很难在短时间内透过粘土层散逸出去。遇到这种情况，要对地质资料进行分析，做出正确判断。另外，若观测孔埋设较深，而管孔外填砂高度不够，特别是仅填至淤泥质粘土层高度时，会出现从降水开始，观测孔内水位一直不动的现象。如果观测孔外忘记填砂，观测孔将完全失去作用。所以，观测孔外的填砂高度和质量不容忽视。

3. 存在未发现的补给水源

观测孔附近或降水区域内存在未被人们及早发现的额外地下水源，井点抽水不及，使观测孔内的水位降至某一高度后，不再继续下降。前面谈到的电缆暗渠“M”部降水中就遇到这种情况，一开始使人迷惑不解，贻误挖土工期，后来找到了已施工雨水排水管道下碎石垫层内汇流的额外水源并加以截断，观测孔的水位才很快下降。

关于早期施工的地下构筑物的回填材料必须全面考虑，选择回填砂、石等高透水性的材料，要顾及到下一地下构筑物的施工，以免给下一工程带来危害和不利影响。

六、影响井点降水效果的技术关键

井点设备的制作、施工安装和运行管理的好坏都直接影响井点系统的降水效果。施工安装和运行管理中特别要注意以下几点：

(1) 首先要保证冲孔和灌砂质量。轻型井点冲孔直径要求为30厘米，喷水井点冲孔直径要求为40~60厘米，冲孔深度最好比井点管深0.5米左右。灌填中粗砂时，填砂要及时，填砂高度应自滤管底部向上贯穿所有土层，以形成一根根完整的集水砂井，利于将各夹层中的水排出。井点灌砂后，上面须用1~1.5米左右的粘土封口，捣实，以防漏气。这个直接影响井点系统的降水效果，可以防止地面雨水自孔口大量灌入和基坑边坡滑塌。

(2) 喷水井点和射流泵的工作水（循环水）要干净。运转初期含有大量泥砂的混浊水要及时更换，防止喷嘴和混合室过快磨损，以保证井点有效工作和降低设备维护费用。若工作水含泥砂较多，不锈钢喷嘴只有10天左右的工作寿命，喷嘴被磨穿后，井点真空度会明显

下降，出水量急剧减少，故在设备运行过程中，要注意检查、分析，喷嘴和混合室已严重磨损的一定要及时更换。

(3) 建立合理施工程序，先按施工组织设计设置泵房和供回水总管，然后分组冲孔下井点，下好一组运行一组，尽量缩短下井点和开始运行的时间间隔，使过滤管内的泥浆及时排出，以免搁置过久而沉淀。

(4) 井点运行后，要求连续工作，尽量避免停电停泵，喷水井点一旦停泵立即会引起工作水倒灌，时间过长，对基坑边坡稳定不利。

在宝钢厂区的地质条件下，用井点法进行人工降水是一种行之有效的方法，二期工程施工中应更好地推广应用。

井点降水的管理体制应根据工程任务的大小和经济效益进行合理组织。专业化有利于降水设备管理和降水技术提高，分散管理则方便灵活，少扯皮，经济效益好。我们过去采用专业与分散相结合的方法，各有利弊。综合考虑二期工程，喷水井点宜集中管理，轻型井点则可由各有关工程公司自行掌握使用。

井点降水费用在地下工程施工费用中占有很大比例，降低降水费用，十分重要。降低费用的关键是合理选择降、排水方案，加快工程进度，缩短井点运行时间，改革费用结算办法，将降水费用统一包干到地下工程施工费用中去，以调动使用单位节约降水费用的积极性。

电渗喷射井点降水

何汉灏 刘哲钧 秦绍元

炼钢车间铁水包坑位于转炉西侧,地面标高-1.5米,坑底标高-16.85米,是宝钢最深的基础工程,其平面、剖面尺寸见图1。该处土层主要是长江河口三角洲第四纪疏松沉积物,地质情况见表1。

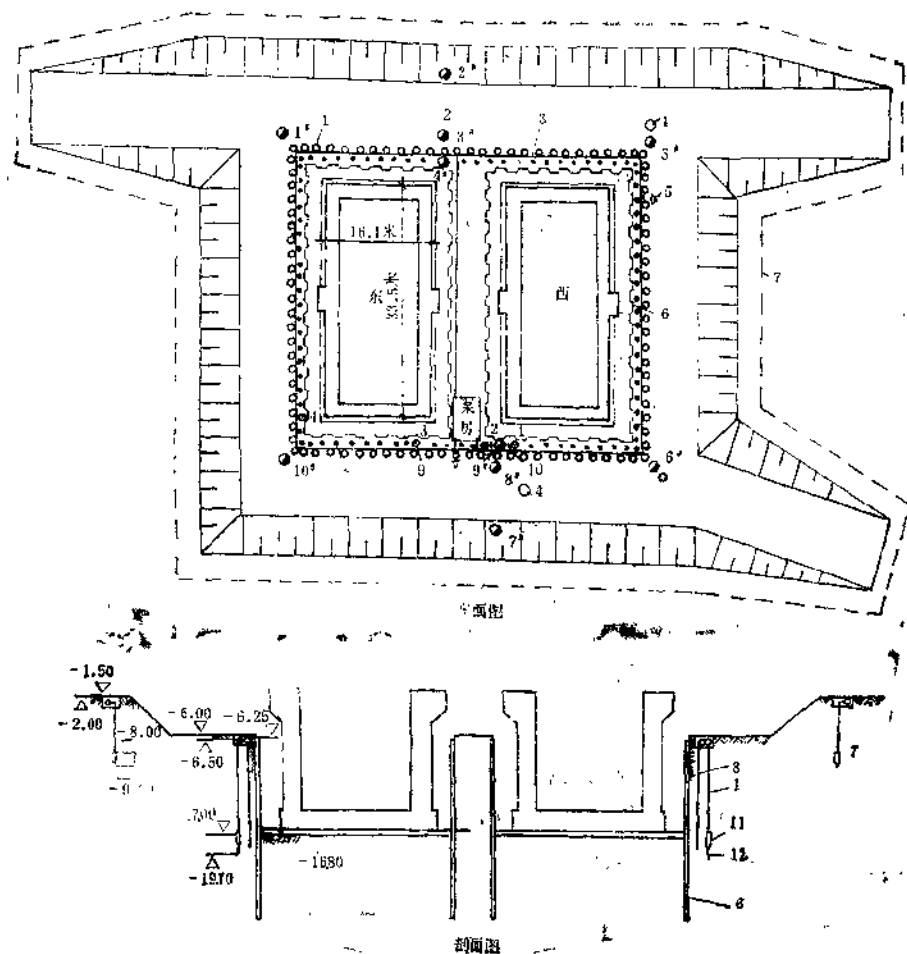


图1 铁水包坑的平面和剖面示意图

1—喷射井点管; 2—水位观测井; 3—喷射井点总管; 4—电渗后取土孔; 5—真空观测井; 6—钢板桩;
7—轻型井点; 8—通电电极; 9—电极水位观测井; 10—不通电电极; 11—滤头; 12—沉泥管;

本地区地下水属上层滞水,有不同程度的沉压性,主要补给源是大气降水。地下水总体流向由西向东,流动缓慢,天然水力坡度很小。由于铁水包坑抗渗要求高,沉井施工没有把握,经研究决定采用两级开挖和两级降水方案(见图1)。第一级开挖深度4.5米,用轻型井

点降水, 降水面积6000平方米, 降深5.5米; 第二级用钢板桩支撑围护, 在钢板桩内挖土, 钢板桩外用电渗-喷射井点降水, 降水面积44×52米, 降深11米。

表 1 铁水包坑地质情况

层 次	深 度 (米) 地 表	土层名称	土 层 描 述	含水量 (%)	干容 重 γ_d	孔隙 比 e	抗剪强度 (直剪)		渗透系数 (厘米/秒)
							C	φ	
一	±0.00	亚粘土 (黄灰色)	包夹厚度大致相等的三小层, 第一层为褐黄色硬塑耕土, 第二层为黄灰色粘土, 饱和软塑, 第三层为饱和软塑粉质亚粘土, 地下水位-1.10米	39.4	1.30	1.11	0.25	12°30'	
	3.10								
二		亚粘土 (灰色)	淤泥质亚砂土夹薄层粘土, 饱和松散, 土质不均匀, 含粉砂及云母片	42.2	1.25	1.17	0.02	27°30'	3.0×10^{-4} ~4.5 $\times 10^{-4}$
	7.20								
		轻亚粘土 (灰色)	粉土夹薄层粉砂及薄层粘土, 饱和软可塑, 土质不均匀	40.3	1.31	1.10	0.13	26°0'	
	9.30								
三		粘土(灰色)	淤泥质粘土, 饱和, 流塑, 高压缩性, 土质较均匀, 夹有薄层细粉砂, 17.00 米以下夹有贝壳碎屑薄层	51.0	1.14	1.41	0.18	8°0'	小于1 $\times 10^{-7}$
	18.00								

注: 表内数值是现场两个钻孔(连续取土), 多个土样的算术平均值。

一、电渗-喷射井点降水设计

为了进行铁水包降水, 提前进行了14×14米的喷射井点环圈降水试验, 井深18米。试验表明: 虽然井点内水位降到18米, 但距井点外3米远的观测孔中, 水位一直保护8米多深,

其它观测孔水位也在淤泥质亚粘土层（第二层土）中变动，说明淤泥质粘土层（第三层土）中真空降水效果不佳；该地区淤泥质亚粘土层的渗透系数约为 4×10^{-4} 厘米/秒，淤泥质粘土层的渗透系数小于 10^{-6} 厘米/秒。由此可见铁水包坑如不采用电渗降水，将难以满足施工要求。

1. 电渗降水原理

在饱和的粘性土中，毛细管中的水是自由水（呈电中性），靠近管壁是一薄层带负电的强束缚水（固定层）。在这两种水之间是一层较厚的带正电的弱电束缚水（扩散层），这就是双电层结构。自由水在土中可自由移动，弱电束缚水在一定条件下（如直流电）也可移动，只有强束缚水不能移动。真空排水法只能排除自由水的一部分，约占总水量的2~5%，直流电渗则可使粘性土的水降到相应的最大分子吸水量。

粘性土通入直流电后，当电场力克服束缚水引力时，扩散层中阳离子就带动周围定向的水分子一起，由阳极向阴极方向移动，产生电渗并带动中间的自由水一起向阴极移动。由于扩散层分子移动，增大了孔隙中水分子移动的有效截面，从而大大提高了土的渗透系数。在淤泥质粘土中，渗透系数提高尤为显著。电渗时，孔隙水中若有浮游颗粒，这些颗粒将为阴离子带动向阳极移动，产生电泳。电泳使阳极周围土体加密并使阴极处的过滤网不致堵塞，因而有利于排水。

电渗降水正是应用这一原理，用钢筋或钢管作阳极，用轻型井点或喷射井点作阴极。在电参与真空双重作用下，强制将粘土中的水快速排除。

2. 喷射井点设计

第二级开挖深度为10.85米，喷射井点管采用10.5米长（不包括过滤器）。因为总管放在0.5米深的地沟内，且过滤器内芯管长1.2米，所以降水深度可达12米，能满足施工要求。为使过滤器不被堵塞，过滤器下端加1.2米长的沉泥管。

降水面积 44×52 米，井点间距2米，共下96支井点，用三套配套电机为55千瓦的6sh6型水泵，扬程78米，抽水量 $140 \text{米}^3/\text{时}$ 。

按稳定流潜水完整井计算基坑涌水量

$$Q = \frac{1.366K(2H-S) \cdot S}{\lg R - \lg r_0}$$

式中：Q——基坑涌水量， 米^3 ；

$K=0.054$ 米/日（渗透系数）；

$H=12$ 米（含水层厚度）；

$S=11.35$ 米（坑内降水深度）；

$R=60$ 米（影响半径）；

$r_0=27$ 米（影响半径）。

计算得到

$$Q = 30.5 \text{米}^3/\text{日}$$

3. 电渗系统设计

用喷射井点管作阴极，用直径25毫米，长度12米的钢筋作阳极，阳极数量和阴极相同，阳极列放到井点管环圈内侧1.25米处，电极列周长为192米。

由于在淤泥质亚粘土层中，真空降水效果很好，只需在淤泥质粘土层中采用电渗，所以阳极上部5.5米（处于淤泥质亚粘土层中）涂沥青绝缘，只让下部6.5米（处于淤泥质粘土

层内)范围进行电渗。电渗面积为

$$F=192\text{米}\times 6.5\text{米}=1248\text{米}^2$$

设计采用45伏电压和1安/米²电流密度。

$$\text{功率} \quad N=\frac{45\text{伏}\times 1\text{安/米}^2\times 1248\text{米}^2}{1000}=56\text{千瓦}$$

设计选用AX-500型功率为20千瓦的直流电焊机3台。

4.现场测试(见图1)

在正极部位设4个电极水位观测井,其中两个通电,两个不通电。通电的两个,其中一个上部5.5米涂沥青,一个不涂,以对比不同情况的电渗效果。

在井点处或井点外侧设10个普通水位观测井。

在井点砂井内设两组真空度观测管,每组三极管,深度分别为8米、10米、15米。

每套井点系统设流量表。

二、电渗-喷射井点降水的施工

为确保获得预期的降水效果,采取了相应的施工措施:

(1)为保证井点滤头周围有足够厚度的砂滤层,采用“套管冲枪”成孔,同时在套管冲枪上增加喷高压空气系统,以加快成孔速度和泥浆排除速度。在冲枪到达设计深度后,用低压水循环减少孔内含泥量。孔内循环水含泥量低于5%后,方允许下管投砂。灌砂可采用灌砂漏斗,以节约人力,加快施工进度。

(2)在过滤器上安装“三爪定中器”,以保证过滤器居于砂井中心位置。

(3)安装“逆止球阀”(图2),将“逆止球阀”装在过滤器芯管下端,以防止喷射井点出现倒灌。当喷射井点正常工作时,芯管内产生真空,出现负压,钢球浮起,地下水吸入真空室;当喷射井点发生故障时,真空消失,钢球被工作水推压,堵塞芯管端部小孔,使工作水在井管内循环,不致倒灌。

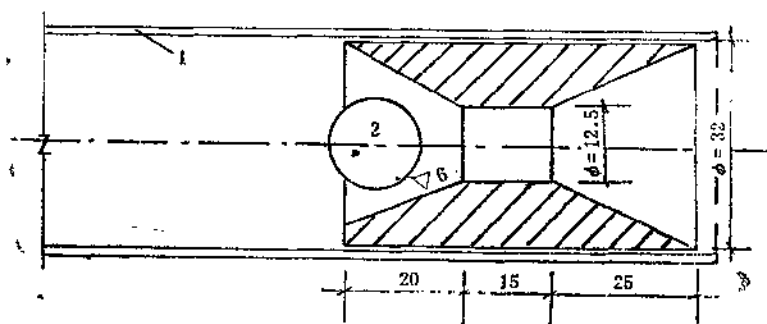


图2 喷射井点的逆止球阀
1—芯管; 2—钢球; $\phi=15$ 毫米

(4)下井管时,水泵随即运转,每下完一根井管,立即接通总管的高压进水管而不接通回水管,让井管内出来的泥浆从水沟排走,待井管内涌出的水质变清后,再接通回水管,以保证砂井良好的透水性和水质。

(5)用3英寸旋叶式电动钻机或孔埋设阳极。钻进时加水和高压空气循环排泥,阳极钢筋就位后,利用下一钻孔排出的泥浆倒灌填孔,使阳极和土接触良好,减少电阻,以利电