

文章编号: 0451-0712(2006)07-0077-04

中图分类号: U445.552

文献标识码: B

海上大直径钻孔桩桩底压浆关键技术分析

吴全友

(杭州湾大桥工程指挥部 宁波市 315327)

摘 要: 以杭州湾跨海大桥南航道桥大直径钻孔桩桩底压浆为背景, 对海上大直径钻孔桩桩底压浆工艺的关键技术进行了分析与总结。

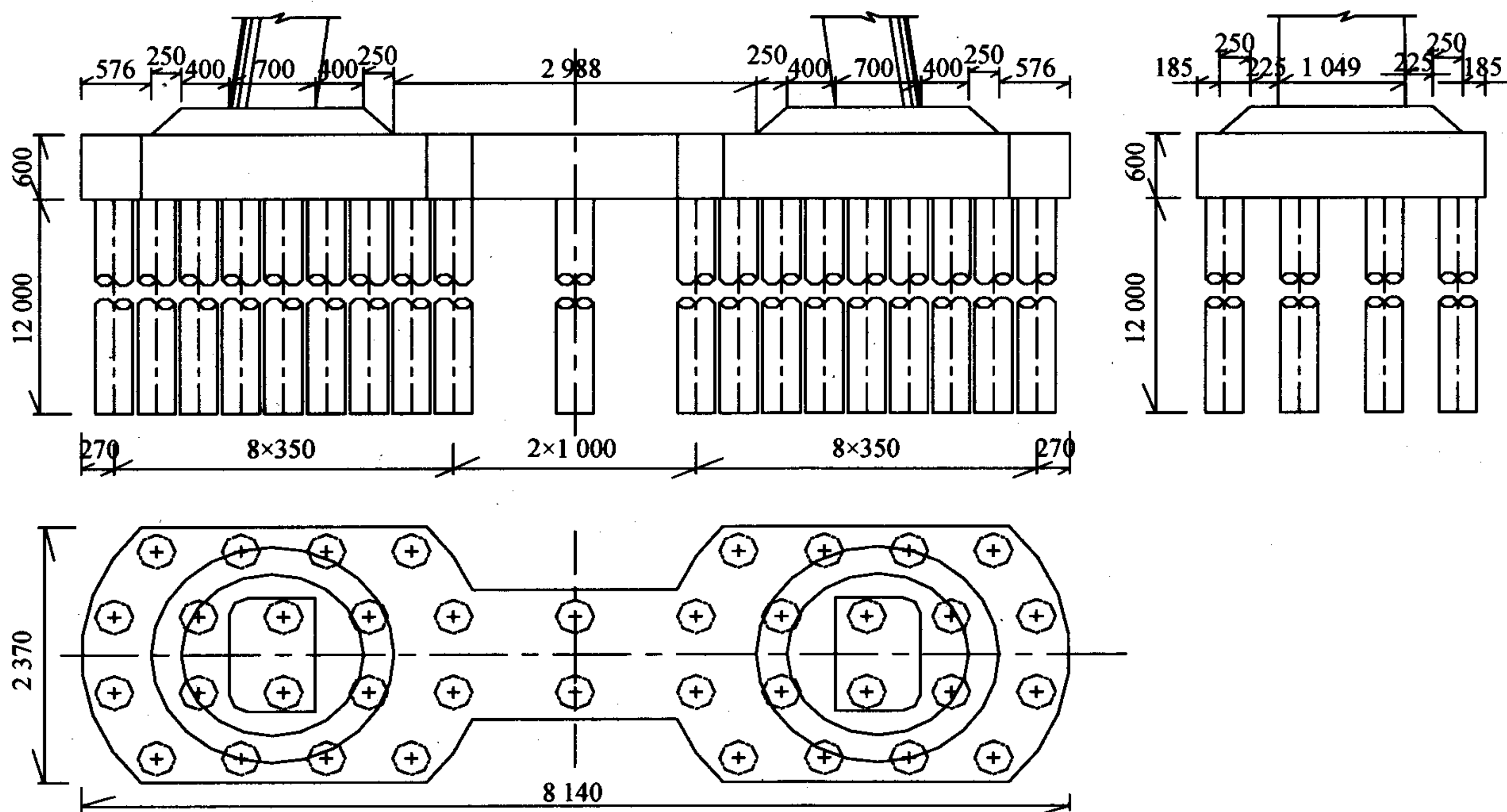
关键词: 杭州湾跨海大桥; 大直径钻孔桩; 压浆技术

1 工程背景

杭州湾跨海大桥是国道主干线——同三线跨越杭州湾的便捷通道, 位于世界三大强潮区之一的钱塘江入海的河口海湾, 北起嘉兴市海盐郑家埭, 南至宁波市慈溪水路湾, 全长 36 km, 是目前世界上最长的跨海大桥。

1.1 南航道桥 D13 墩桩基方案

南航道桥为单塔双索面斜拉桥, 跨径组合为 318 m + 160 m + 100 m。其中 D13 墩为主墩。D13 主墩基础设计有 38 根直径为 2.8 m, 单根桩长为 120.2 m 的群桩基础, 桩顶标高 -0.6 m (黄海高程, 下同), 桩底标高 -120.8 m。D13 墩基础布置见图 1 所示。



单位: cm

图 1 D13 墩基础布置

1.2 地质情况

桥位处的地质主要以粘土和细砂为主, 从上到下依次分布为: 亚砂土、淤泥质亚粘土、淤泥质粘土、粘土、亚粘土、亚砂、粘土、中细砂、亚粘土、粘土、粉

砂、亚粘土、细砂。桩底位于细砂层。D13 号墩地层分布见图 2 所示。

1.3 水文、波浪

1.3.1 潮位

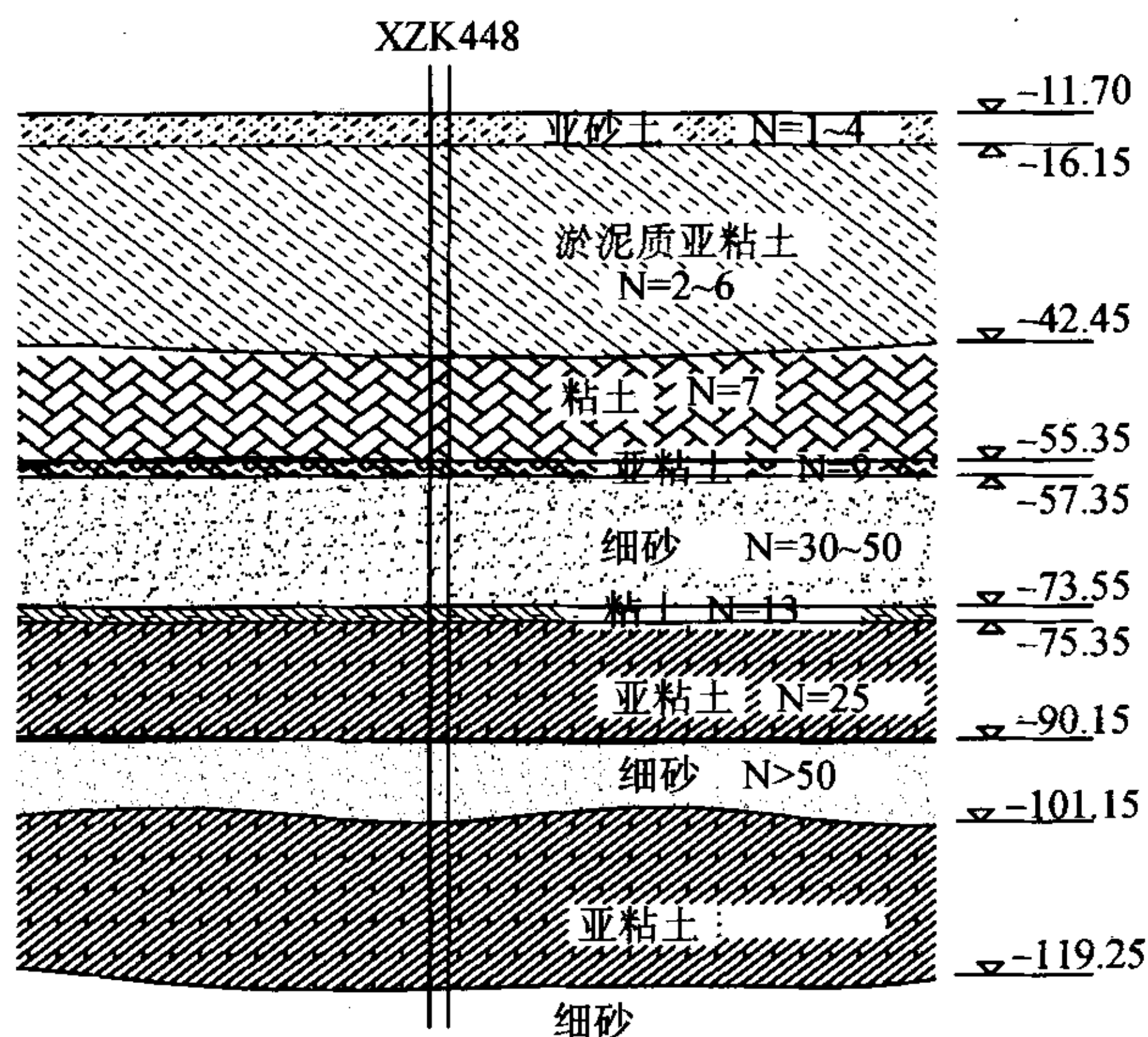


图2 D13墩地层分布

杭州湾为强潮河口湾,潮汐类型为浅海半日潮,并有明显的日潮不等现象,最大潮差可以达到7.0 m。桥位设计水位见表1。

平均涨潮历时5 h左右,落潮历时7 h左右。

表1 桥位设计年极值高水位和极值低水位

桥位设计 极值高水位	频率 $P/\%$	0.33	1	2	5	10	20	50
	重现期/a	300	100	50	20	10	5	2
	潮位/m	6.15	5.80	5.55	5.30	5.05	4.78	4.42
桥位设计 极值低水位	频率 $P/\%$	99			98			
	重现期/a	100			50			
	潮位/m	-3.58			-3.56			

1.3.2 流速

涨、落潮平均设计流速见表2。

表2 涨落潮垂线平均设计流速

重现期/a	乍浦站潮差/m	垂线平均最大流速/(m/s)
20	7.8	涨潮 3.24
		落潮 2.50

1.3.3 波浪

平均波高 $H_s \leq 2.0$ m 的出现频率 $f \geq 99.96\%$, 最大波高 $H_m \leq 2.0$ m 的出现频率 $f \geq 99.59\%$, 20 年重现期 $H_{13\%} = 3.92$ m, 周期为 7.46 s。

1.4 工程特点

(1) 南航道桥处于杭州湾海况最复杂、最恶劣的水域,风大、浪高、流急,有效作业时间短。

(2) 桩底注浆在大直径钻孔桩,特别是海上大直径钻孔桩上应用很少,处于起步阶段,可借鉴的工程

实例不多。

(3) 压浆管形式、压浆量及压浆压力根据地质情况的不同,需要做出不同的选择。

2 桩底压浆的基本机理

桩底压浆时,浆液首先将渗透到最疏松的桩端沉渣间隙中,形成水泥凝结快,从而消除孔底沉渣的不良影响。浆液进一步向桩端持力层中渗透,在桩端形成“梨形体”。梨形体的增大会对桩端持力层起到压密作用,提高了桩端的承压面积和桩端承载力。当浆液压力升高时,注浆量不断增加,浆液会沿着桩壁上升,充填间隙,提高桩侧摩阻力。由此产生的沉渣和泥皮的固化效应、渗入胶结效应、劈裂加筋效应以及扩底扩径效应能够大幅度地提高钻孔桩承载力,同时能够消除桩身过大的沉降。对于粉土、粉砂或粉质粘土夹层等地层而言效果最显著。注浆机理示意图见图3所示。

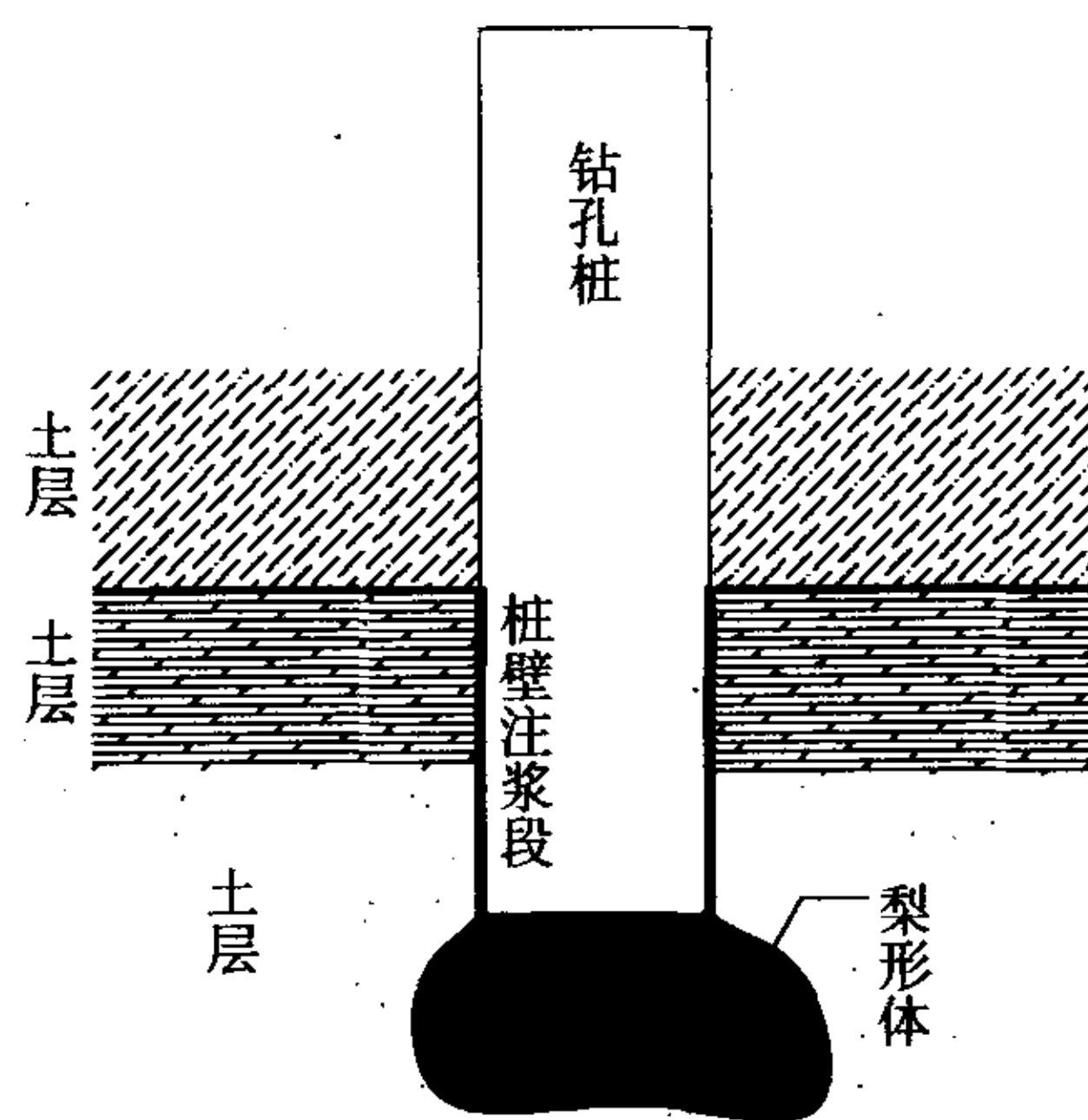


图3 注浆机理示意

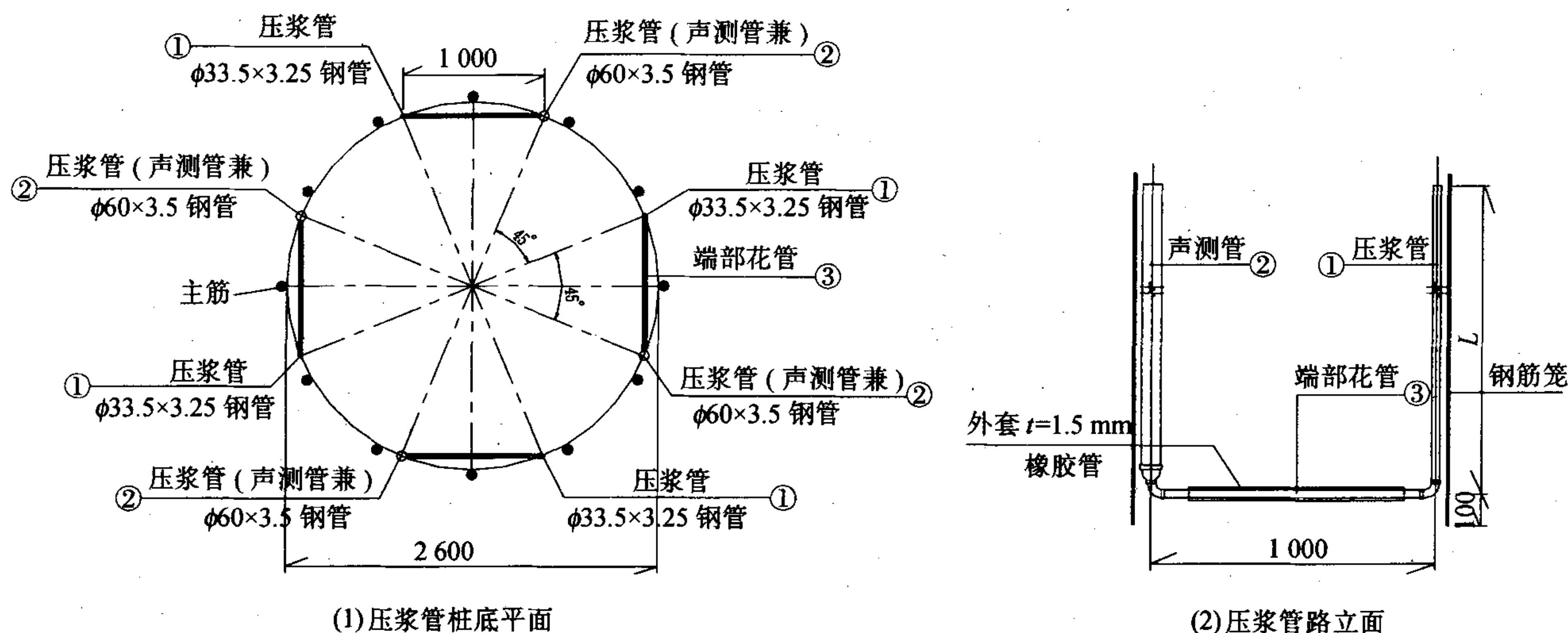
桩底注浆技术在小直径、桩长较短的钻孔桩上应用较多,在高层建筑的桩基础上应用很广泛,但是在直径、超长桩上应用较少。从了解的情况来看,在苏通大桥、东海大桥、上海长江大桥等几座特大型桥梁上应用过或正在应用。

3 压浆管形式的选择及布置

桩底压浆管有两种形式,即直管法和“U”管法。在东海大桥应用的是直管法,而苏通大桥应用的是“U”管法。本工程借鉴了东海大桥和苏通大桥的经验,注浆管的形式采用“U”管法。共布置8根注浆管,形成4个回路,其中4根 $\phi 60 \times 3.5$ 注浆管兼作声测管,4根 $\phi 33.5 \times 3.25$ 钢管为专用注浆管,相邻两

根声测管及两根注浆管之间互成 90° ,注浆管在桩底形成“U”形回路。“U”形回路桩底直线段布置向下

和向水平方向的注浆孔,并与钢筋笼底端平齐。注浆管的布置见图4所示。



单位:mm

图4 注浆管布置

4 关键的施工工艺

4.1 注浆管的保护

为了保护“U”形注浆管不被首批灌注的混凝土冲坏,对桩底的“U”形回路部分进行了优化。取消了弯向桩中心的部分,直接将相邻的两根管道用直管连接在一起。为了防止灌注混凝土时注浆管内进入砂浆,采取了以下几项措施:首先是管道之间的连接接头,采用焊接连接或管道接头结合止水胶带的方式连接;其次是利用向管道内注入自来水的方法来减小管道内外的压力差;最后是桩底的“U”形管直线段部分用图钉塞住注浆孔,并用自行车内胎套在直线段外,同时用胶带多层包裹的方法进行保护。

4.2 桩底注浆量计算

桩底注浆应根据桩端持力层的岩土性状、沉渣等因素计算注浆量,计算式如下:

$$V_{\text{端}} = \eta \cdot \pi R^2 \cdot H \cdot \beta \cdot n$$

式中: $V_{\text{端}}$ 为每根桩的浆液注入量, m^3 ; η 为浆液损耗系数,一般取 $1.1 \sim 1.3$; R 为浆液有效扩散半径, m ; H 为需要加固段高度,一般取 $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$; n 为孔隙率或裂隙率,本工程桩端持力砂层天然孔隙比 $n=0.682$; β 为浆液充填系数,一般取 $0.4 \sim 0.9$ 。

在施工过程中,实际注浆量应大于理论注浆量,通过第一根桩进行试验,最终确定D13墩钻孔桩桩底的注浆量为 $6\,500 \sim 6\,800 \text{ L}$ 。

4.3 浆液配合比

根据本工程先期施工标段的施工经验,浆液的性能,特别是浆液的水灰比和初凝时间,直接影响到注浆质量,所以浆液的配合比十分重要。经过多次试验最终采用的浆液配合比见表3。

表3 压浆液配合比

材料用料	水泥	膨润土	水	减水剂	初凝时间	7 d 强度
重量/(kg/m ³)	866	87	693	8.66	5 h	>5 MPa
水灰比	0.85					

注:(1)压浆水泥采用安徽海螺P. I 42.5级散装水泥;
(2)外加剂采用减水剂、膨润土。

4.4 注浆设备

压浆设备:注浆泵、浆液搅拌机、贮浆桶、压力表、单向阀、筛网、浆液测试仪器等。

注浆泵型号为XPB-10,最大压力 9.5 MPa ,最大流量 90 L/min ,额定功率 22 kW 。

制浆机采用ZJ-400型涡流制浆机,该设备公称容积为 400 L ,制浆时间为 3 min ,额定功率为 7.7 kW 。

4.5 压浆顺序的确定

对于群桩基础而言,压浆顺序应该是先周边桩后中间桩,中间桩压浆时可采用梅花桩间隔压浆顺序。考虑D13墩钻孔桩施工的实际情况,所以最终确定的压浆顺序为钻孔桩施工与桩底压浆施工交叉作业进行,将上下游承台的各18根钻孔桩分为若干个区域,系梁的两根桩单独作为一个区域,对于每个区域相

邻的4根桩完成后,即可对该4根桩进行桩底压浆。

4.6 压浆工艺过程

压浆施工工艺流程见图5所示。

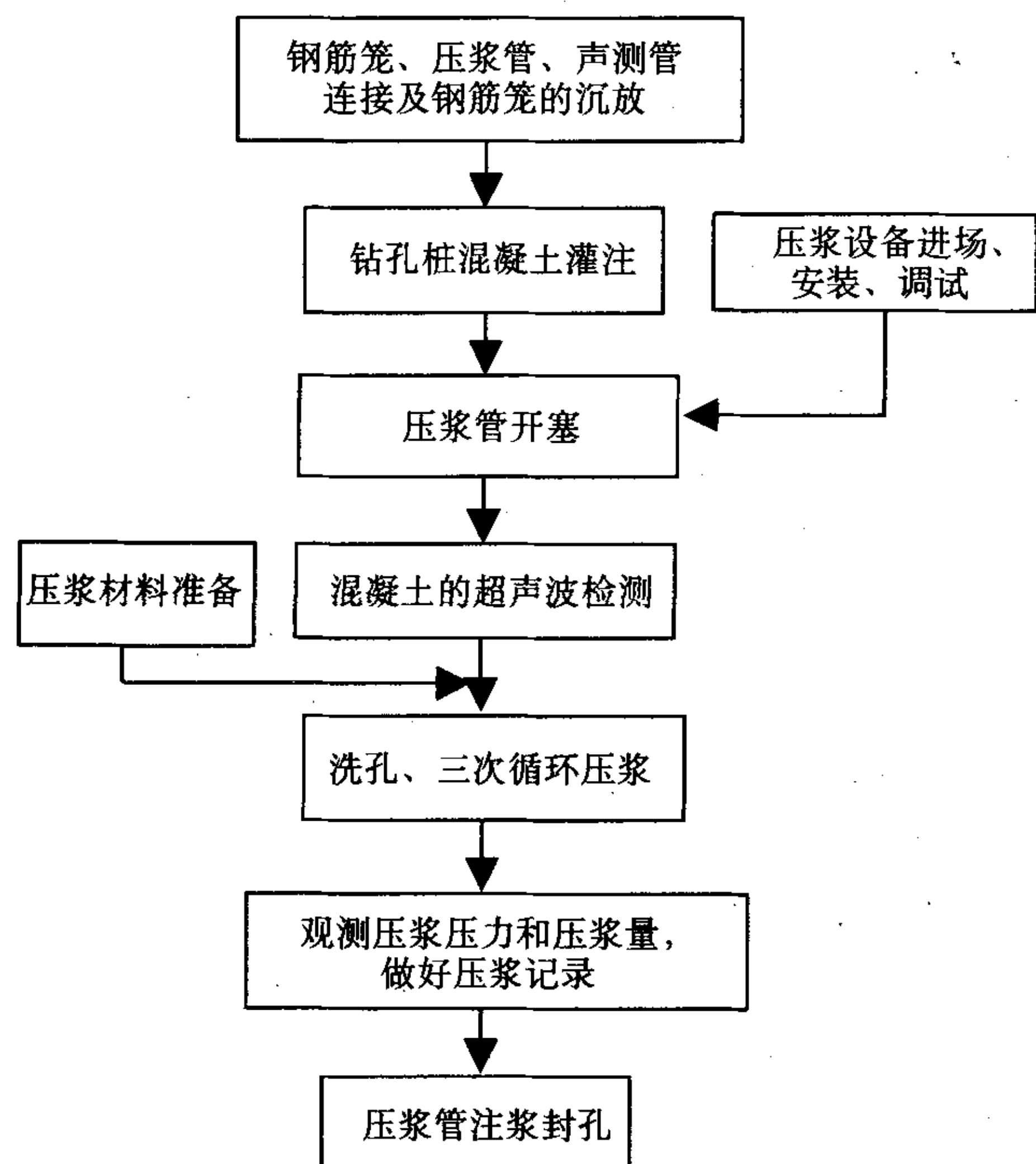


图5 压浆施工工艺流程

压浆的施工过程包括以下几个方面:开塞、分三个循环进行压浆、管路内注浆封孔等。

(1) 开塞。

D13墩钻孔桩混凝土标号为水下C30海工混凝土,初凝时间为20h,在混凝土浇注完毕24h左右进行注浆孔开塞。具体做法为:向注浆管内进行高压注水,当出浆口出水后,关闭出浆阀继续加压,当压力达到最大值后突然下降,证明包裹压浆孔的高压胶布开裂,压浆孔冲开。在混凝土终凝之前的时间内,要经常用高压水进行循环,防止已经开塞成功的压浆孔重新被堵塞。开塞压力一般在1.0~4.0 MPa左右。

(2) 第一次循环压浆。

当混凝土强度达到设计强度(30 MPa),并进行超声波无损检测之后,进行第一次循环压浆。第一次循环压浆以压浆量控制,每个回路的压浆量为300 L,4个回路共1 200 L。每个回路压浆完成后,应及时利用另外一台压浆泵压注用清水冲洗管路,冲洗管路的间隔时间为2~3 h,直至水泥浆初凝以后停止,防止浆液堵塞管路。第一次循环压浆的目的是封堵土层中的孔隙。

(3) 第二次循环压浆。

根据浆液的初凝时间确定后两次循环压浆的间隔时间,总的原则是间隔时间大于浆液的初凝时间。第二次循环压浆仍然以压浆量控制,每个回路的压浆量为300 L,4个回路共1 200 L。每个回路压浆完成后清洗管路的方法与第一次循环的方法相同。第二次循环压浆的目的也是封堵土层中的孔隙。

(4) 第三次循环压浆。

第三次循环压浆以注浆压力和注浆量进行控制,仍然按照4个回路循环进行。根据试桩取得的数据,注浆压力按照4.0 MPa控制,注浆量按照不小于注浆总量(即6 500 L~6 800 L)控制,稳压时间按5 min控制。由于在实际施工中均没有观察到桩身上抬,所以不再将桩身上抬量作为控制指标。第三次循环压浆的目的是向外围孔隙已经封闭的土层中继续压浆,同时由于桩底地层孔隙被前两次注浆封闭,迫使浆液沿桩周比较薄弱的位置(桩与地层之间的泥皮)向上走,并达到一定高度。

第三次循环压浆的同时,将注浆管利用浆液灌实封闭。

4.7 压浆操作过程中的注意事项

(1) 压浆管随同钢筋笼一起下放时,要采取严格的保护措施,防止水泥浆进入压浆管道。

(2) 在施工过程中,要严格控制浆液配合比,制备好的浆液应具有良好的流动性,不离析、不沉淀。浆液进入贮浆桶时,必需用纱网进行过滤,防止杂物堵塞压浆孔及管路。

(3) 注浆泵的性能往往决定注浆的成败,要求压浆时能够控制压力,并在要求的压力下稳定一段时间,以使土层充分压密并向外扩张。要稳住压力,排量就必须有相应的变化,所以注浆泵应配备可调速的电机。

(4) 压浆量、注浆压力应事先进行计算,要充分地了解桩底及桩侧以及一定范围内的地质条件及土层情况,根据试验桩的注浆情况,最终确定注浆量及注浆压力。

(5) 开塞是关系到能否顺利注浆的关键工序,开塞的时机必须把握好,在混凝土初凝后立即进行,并且在混凝土终凝前,要经常注水防止注浆孔堵塞。

(6) 每次循环之间的时间间隔很重要,必须在前一个循环所注浆液达到初凝时间以后,才能进行下一个循环的注浆,否则无法有效地封闭土层中的孔隙,很难控制浆液的有效扩散半径。

(7) 前两次循环完成后,清洗管道也是很关键的工

文章编号: 0451-0712(2006)07-0081-04

中图分类号: U443.33

文献标识码: A

钢桥面铺装环氧防水粘结层材料与结构试验研究

赵锋军^{1,2}, 李宇峙², 易伟建¹, 邵腊庚², 吴国平²

(1. 湖南大学土木工程学院 长沙市 410076; 2. 长沙理工大学公路工程学院 长沙市 410076)

摘 要: 钢桥面铺装是工程难题, 防水粘结层是铺装结构的薄弱环节, 为提高防水粘结层的性能, 试验研究了一种新型的粘结材料。在分析钢桥面铺装防水粘结层使用条件与要求的基础上, 试验研究了该材料的一些基本工程性能, 试验结果可供工程人员参考。

关键词: 钢桥面铺装; 防水粘结层; 试验

钢桥面沥青铺装工程是国内工程界至今未能完全解决的难题, 国内多家科研单位也做了大量的尝试与试验, 试图较好地解决这一难题, 在实践中也发现与总结了许多以往未遇到的新问题。从沥青路面设计到钢桥面铺装设计, 在计算模型上均考虑层间接触条件为连续。在沥青路面实际施工中, 层间往

往洒布粘层油, 粘层油改善了层间接触状态, 实际传递水平剪力的并不是粘层油, 而是层间嵌挤作用。由于沥青路面整个体系的材料模量比不大, 而且界面也粗糙, 嵌挤作用的形成就很自然。对于钢桥面沥青铺装, 如何实现钢板与铺装层的嵌挤是解决问题的关键。

收稿日期: 2005-11-03

序, 若清洗不及时, 会使注浆管道堵塞, 无法继续注浆。

(8) 注浆过程中, 要认真做好现场注浆记录。

5 工程实施及效果分析

D13 墩共计 38 根钻孔桩, 从 2005 年 1 月开始注浆, 到 2005 年 10 月全部结束, 历时 10 个月, 每根桩的桩底注浆均达到试桩后确定的关于注浆的各项技术指标。

在 D13 墩钻孔桩开工之初, 利用两根工程桩进行了钻孔桩工艺试验及承载力试验, 其中一根桩又进行了注浆前后承载力对比试验, 另外一根桩只做注浆后的承载力试验。单桩承载力的静荷载试验由东南大学土木工程学院采用自平衡法进行。

由于受到加载条件的限制, 所测得的桩端最大承载力并没有达到极限承载力, 土层始终处于弹性状态。当桩顶位移达到 40 mm 时, 23 号试桩压浆后较压浆前承载力提高了 43.5%。提高幅度基本上与东海大桥(注浆后承载力提高 60% 左右)和苏通大桥(注浆后承载力提高 40% 左右)接近。

6 小结

(1) 桩底注浆在大直径超长桩上应用, 能够大幅提高桩基承载力, 可以为优化钻孔桩设计提供依据, 为工程节约投资, 应用前景十分广泛。

(2) 注浆管的形式对于注浆量及注浆工艺要求不同, 相对来讲直管法注浆的注浆量要大于“U”形管法。因为直管法是将所有浆液一次性注完, 主要按照注浆量控制; 而“U”形管法是间歇性注浆, 有先封闭桩底土层孔隙的过程, 可减小浆液的无效扩散的范围, 以注浆压力和注浆量同时控制。

(3) 注浆效果, 可以通过承载力试验进行检验, 还可以通过钻孔取芯检验土层加固后的强度, 通过超声波、电磁波对注浆地层进行“CT”扫描, 更深一步研究注浆机理及效果。

参考文献:

- [1] 史佩栋. 深基础工程特殊技术问题[M]. 北京: 人民交通出版社.