

文章编号: 0451-0712(2006)06-0210-04

中图分类号: U445.551

文献标识码: B

超大直径桩海水造浆的工艺研究与应用

毛志坚, 林海, 高超

(广东省长大公路工程有限公司 广州市 511430)

摘要: 在跨海桥梁桩基施工中,通过用海水和淡水造泥浆性能指标的试验对比,找到了能满足杭州湾跨海大桥施工要求的价低质优的海水泥浆,经过施工实际应用,仅桩基础就节约直接成本近200万元,取得了良好的经济效益。

关键词: 杭州湾跨海大桥; 桩基施工; 试验分析; 海水造浆; 应用

1 工程概况及海水造浆工艺研究背景

杭州湾跨海大桥Ⅰ合同段包括北航道桥和北侧高墩区引桥下部结构,共计152根钻孔灌注桩,其中:主墩桩基52根,桩径2.8m,平均桩长125m;边辅助墩共计44根,桩径2.5m,平均桩长93m;高墩区引桥墩共计56根,桩径2.5m,平均桩长92m。本工程桩基均属于深孔大直径钻孔灌注桩,为深孔大直径泥浆工艺研究提供了条件。

北航道桥工程区段基岩面均为第四系松散沉积物,地质复杂,桥位处海底地形平坦,覆盖层很厚,地层岩性分布比较均匀。由于受涨落潮水的影响,冲淤交互进行,要求泥浆具有高稳定性和良好的抗渗性能,才能保证桩基施工有良好的成孔效果。

由于工程地质、水质、泥浆材料等决定着钻孔的泥浆配比,在不同的海域施工,应采取不同的泥浆配比。在桩基础开工前,必须做泥浆对比试验,从中优化选择泥浆配比。于是利用在厦门海沧大桥、湛江海湾大桥等海湾特大型桥梁施工过程中总结出的海水造浆技术,对用海水和淡水造浆技术性能作对比,以配制符合本工程特点的优质泥浆。

2 海水泥浆的技术要求

(1)根据《杭州湾跨海大桥施工专用技术规范》的要求,终孔后的泥浆指标标准高,密度要在 $1.03\sim 1.10\text{ g/cm}^3$,粘度在 $17\sim 20\text{ s}$,胶体率大于98%,含砂率小于2%,pH值在 $9\sim 11$;

(2)因水中含有大量的无机盐类,故要求泥浆性

能必须稳定,对盐的敏感性较低,具有抗盐类污染的较高性能,性能变化小;

(3)钻孔泥浆应具有降低失水、稀释、悬浮钻渣功能,泥皮要薄,护壁要稳定。

3 钻孔泥浆材料的选用

通过检索现有国内外海水泥浆技术的有关文献,结合杭州湾大桥海域的实际情况,在保证配制海水泥浆性能指标的前提下,本着价格经济、性能稳定及便于就地取材的原则,对不同性质的造浆材料进行了试验对比,按对比结果选择造浆材料。

3.1 水

配制泥浆对水有一定要求,饮用水可以直接使用,但使用海水时应做拌和试验。当水中的 Ca^{2+} 浓度达到100PPm以上时,膨润土就会凝聚和沉降分离;当水中的 Na^+ 浓度达到500PPm以上时,膨润土的湿胀性就下降极快,达到近于海水浓度时(3400PPm)就会产生凝聚。为此,在用海水直接造浆时,需选用适宜处理剂,使海水泥浆性能满足要求,试验中的淡水为饮用自来水,海水为施工区域内的海水。

3.2 造浆土体

结合在湛江海湾大桥的造浆经验,膨润土和抗盐粘土都具有相对密度低,含砂量小,造浆后的泥皮薄,稳定、固壁能力高,阻力小和造浆能力大等特点,故选用膨润土和抗盐粘土作为比选材料。

膨润土加入水后,水很快进入蒙脱石的晶格层,

膨润土很快湿胀,并在湿胀后成为一种带有电荷的亲水胶体,通过颗粒间的静电斥力,保持稳定的悬浮

状态,使泥浆处于稳定状态。试验中的膨润土物理指标及化学成分见表1。

表1 膨润土的物理指标及化学成分

指标名称	粒度	pH 值	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	烧失量
指标值	200目通过97%	8.5	71.95%	8.16%	0.56%	1.04%	1.56%	2.12%	1.76%	12.7%

抗盐粘土是以优质凹凸棒粘土为原料,经特殊工艺加工制成的钻孔泥浆材料。抗盐粘土适用于地质钻探、海洋钻井、含盐地质钻井,具有较高的热稳定性和抗盐性,使用它可保护井壁、减少废井率、提高钻井效率、降低钻井成本。试验中抗盐粘土技术标准见表2。

表2 一级品抗盐粘土技术标准

指标名称	要求
600转读数	≥30格
筛余(200目)	≤8%

3.3 泥浆分散剂

使用分散剂是为了防止盐分或海泥对泥浆的污染,防止钻孔坍塌,提高泥浆的再生功能。常用的有碱类(如:Na₂CO₃、NaOH)和木质素磺酸盐类(俗称

FCL 铁铬盐)。杭州湾大桥技术规范对pH值要求高,选择碱类散剂,可根据需要利用碱的掺量来控制pH值的大小。为此在选材试验中,我们分别用Na₂CO₃和NaOH,做同配比的泥浆性能试验,并通过比较,合理选择泥浆分散剂。

3.4 泥浆增粘剂

使用增粘剂可起到防止钻孔坍塌的作用,在泥浆受盐分或水泥污染时起保护凝胶的作用,同时可提高钻孔效率。一般工程中常用的有羧甲基纤维素,由于海水中阳离子和Cl⁻的大量存在会降低泥浆粘度,我们选用了具有抗盐性的CMC,能使泥浆在海水中不降低粘度,并可与任何盐类形成完全溶解的高粘度溶液。CMC物理化学指标见表3。

表3 CMC物理化学指标

指标名称	外观	有效成分/%	氯化物/%	2%水溶液粘度 mPa·s	干燥减量 %	代替度 D.S	pH 值
指标值	白色絮状粉末	≥80	≤8.0	≥1 400	≤10	≥0.85	6.5~8.0

4 钻孔泥浆试验

4.1 泥浆试验

钻孔泥浆试配试验共14组,是在以往施工实践的基础上,对泥浆配比进行适当调整,并使其具有可比性,泥浆配比试验数据见表4。

各组配比泥浆的物理性能指标见表5。

4.2 试验分析

(1)原状浆分析。

在本标段各工段桩基钻孔过程中,进行了取样和试验工作,得出原状浆不能满足规范要求的结论,仅以a组试验加以说明。

在B10~B19号桩的出渣口,取一定数量的原状浆,测得密度为1.25 g/cm³,稠度18 s,含砂率0.5%,pH值7,24 h胶体率65%,72 h胶体率40%,分层现象严重,泥浆质量非常差,不能满足《杭州湾跨海大桥施工专用技术规范》的要求,直接用原状浆造浆是行不通的。于是在此组试验的基础上,分别用海水和淡水试配了b组和c组,试验结果表明,c组由CMC和Na₂CO₃组成的淡水泥浆性能比较好,c组和a组相比技术性能有所提高,于是又在c组的基础

表4 泥浆配比情况

试验编号	泥浆组分	配比/g
a	B10~B19号桩原浆	/
b	原状浆+海水+CMC+Na ₂ CO ₃	1 000 : 855 : 4.0 : 2.8
c	原状浆+淡水+CMC+Na ₂ CO ₃	1 000 : 850 : 6.0 : 2.8
d	膨润土+海水+CMC+NaOH	600 : 3 000 : 4.0 : 6
e	膨润土+淡水+CMC+NaOH	600 : 3 000 : 4.0 : 6
f	膨润土+淡水+CMC+Na ₂ CO ₃	600 : 3 000 : 4.0 : 9
g	膨润土+海水+CMC+Na ₂ CO ₃	600 : 3 000 : 4.0 : 9
h	膨润土+海水+CMC+Na ₂ CO ₃	600 : 3 000 : 4.8 : 10
i	抗盐粘土+海水+Na ₂ CO ₃	200 : 1 180 : 3
j	抗盐粘土+淡水+Na ₂ CO ₃	200 : 1 180 : 3
k	膨润土+淡水+CMC+Na ₂ CO ₃	600 : 3 000 : 4.2 : 10
l	膨润土+海水+CMC+Na ₂ CO ₃	600 : 3 000 : 4.0 : 9
m	膨润土+淡水+CMC+Na ₂ CO ₃	600 : 3 000 : 3.8 : 9
n	原状浆+海水+CMC+Na ₂ CO ₃	1 000 : 850 : 7.4 : 2.8

注:(1)b、n组原状浆是在施工场地取海泥,经海水拌和,制成与a组原浆密度、稠度、pH值非常近似的泥浆;

(2)c组原状浆是在施工场地取海泥,经淡水拌和,制成与a组原浆密度、稠度、pH值非常近似的泥浆。

上,通过增加泥浆增粘剂CMC的量,对其进行优化,基本上达到了预期的效果。

表5 泥浆的物理性能指标

试验编号	密度/(g/cm ³)	稠度/s	含砂率/%	pH值	24 h 胶体率/%	48 h 胶体率/%	72 h 胶体率/%
a	1.25	18	0.5	7	65	44	40
b	1.14	18	0.4	8.5	72	68	65
c	1.12	20	0.3	9	98	98	97
d	1.11	17	0.4	9	41	35	35
e	1.10	19	0.3	10	49	38	36
f	1.10	28	0.8	8	98	96	95
g	1.10	18	0.8	7	42	42	41
h	1.10	20	1.0	9	98	98	97
i	1.09	22	0.7	10	87	83	80
j	1.09	28	0.7	10	95	90	89
k	1.10	18	0.4	9	99	98	98
l	1.10	17	0.8	9	46	45	45
m	1.10	17	0.4	9	95	94	90
n	1.12	25	0.3	8.5	99	98	96

(2) 膨润土和抗盐粘土造浆的比较。

通过膨润土和盐粘土相关配比的泥浆比较,当配置物理指标相接近的泥浆时,抗盐粘土比膨润土用量要小得多,说明了抗盐粘土的造浆效果要好于膨润土,但抗盐粘土作为泥浆组成材料,其市场价格较高,经济效果不明显。

(3) 海水和淡水的造浆比较。

通过对膨润土和盐粘土分别配置海水和淡水泥浆,可以看出,淡水造浆的效果无论用膨润土还是盐粘土,同配比的淡水造浆要比海水泥浆密度要小,性能要稳定。但是淡水成本高,施工中要兼顾成本和运输费用。用海水泥浆通过增加一定数量的泥浆分散剂和增粘剂,可以达到同淡水泥浆同样的效果。

选择淡水造浆还是海水造浆,要视工程特点、施工条件,统筹考虑,兼顾成本,优化选择。

(4) 稳定性分析。

泥浆稳定性与密度和胶体率的关系,在密度满足施工要求时,72 h 泥浆胶体率是决定性因素,72 h 胶体率越大,稳定性越好,当胶体率相同时,泥浆稠度越大,泥浆越稳定。经研究分析,上述14组泥浆中c、f、h、k、n组稳定性要好,72 h 的胶体率都能达到95%。

(5) 抗渗性分析。

抗渗性是深孔大直径钻孔灌注桩在施工过程中,根据地质情况,对泥浆性能提出的新要求。一般来说,同地质条件下,深孔大直径钻孔灌注桩在终孔后孔壁受到压力要比浅孔大得多,要求泥浆的抗渗性能要好,使孔壁外海水很难以渗流的方式进入桩孔,从而减弱地下海水对泥浆质量影响的程度。

由于受试验条件的限制,很难做到与施工状态

一致。本次建立了一种试验模型,来尝试判断泥浆的抗渗性能。用海泥做成一个底面封闭的圆筒泥团,泥团外径为34 cm,内径28 cm,高度13 cm。将泥团放入一个内径为37 cm,高度15 cm的盆内,在盆中注入海水,泥团内注入泥浆,并使海水面与泥浆面保持一定的距离。

通过这种简易模型,来模拟泥浆在桩孔中的状态。相隔一段时间,观察试验模型中的泥浆溶液的物理状态,来大致判断泥浆的抗渗性能。如果泥团中的泥浆一直是浑浊的,我们认为它就是稳定的。按先前预定的抗渗性判断标准,经模拟后发现,稳定性好的泥浆抗渗性能也好。抗渗性好的泥浆,终孔后的泥浆指标也比较稳定。

(6) 技术经济分析。

对稳定和抗渗透性能好的泥浆,按材料进货单价,膨润土230元/t,抗盐粘土600元/t,CMC 22000元/t,Na₂CO₃2100元/t,淡水20元/t,对泥浆成本进行分析计算,技术经济指标见表6。

5 钻孔泥浆工艺的选择

钻孔泥浆的选择,首先要考虑泥浆的技术性能,保证桩基成孔质量,在此基础上还应结合经济性要求。本标段共计13个墩,由于B1~B10墩是搭设栈桥辅助施工,B11~B13墩依靠船舶运输辅助施工,如果利用海水造浆要消耗较多成本昂贵的CMC,如果利用淡水造浆,虽然消耗CMC量少,但淡水消耗量大,船舶和汽车运输费用高,每m³泥浆需另增18元的运输成本。经综合分析后,B1~B13墩均采用海水造浆,泥浆配比选择h组。这样既可以保证成孔质

表6 泥浆技术经济指标分析

验编号	密度/(g/cm ³)	72 h 胶体率/%	泥浆体积/m ³	稠度/s	单位成本/(元/m ³)	排序
c	1.12	97	0.001 660	20	93.3	3
f	1.10	95	0.003 285	28	92.8	4
h	1.10	97	0.003 286	20	80.5	5
k	1.10	98	0.003 286	18	94.8	2
n	1.12	96	0.001 661	25	101.6	1

量,又能充分利用海水资源,还可节约造浆成本。

6 造浆工艺实施

要配置性能良好的泥浆,除了备有优质的原材料外,还应注意施工工艺即拌和工艺,在本工程中尤其注意纤维素CMC的水解工艺。其方法是将CMC按1:30~1:60的比例配成水溶液,用高速搅拌机高速搅动至晶体完全溶解,即溶液表面没有晶体。在加料过程中应不间断地搅拌,施工现场可采用高压循环泵对泥浆进行快速循环(搅拌速度将直接影响泥浆的性能),直至搅拌均匀。

施工工艺如图1所示。

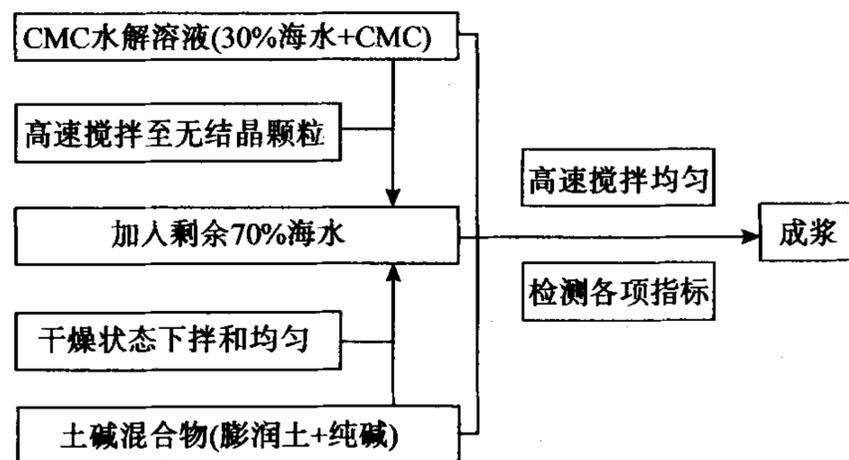


图1 施工工艺流程

7 海水泥浆的应用

通过现场的泥浆性能论证,对造浆工艺的研究具有重要意义。杭州湾地质复杂,通过对12根桩泥浆质量全过程的动态监控,施工过程中针对不同的地质情况,对海水泥浆的各项性能指标进行全过程控制。在钻进过程中,比重由先前的1.25调到1.1,含砂率由2%降至清孔后的0.5%,pH值9~11,胶体率不小于95%,粘度17~20 s。特别是在B10墩2号桩,在钻孔过程中,钻头掉落至孔底,处理时间花了3个多月,施工中用h组泥浆护壁,由于泥浆质量稳定,抗渗性能好,在重新钻孔过程中,没有发现漏浆和塌孔现象,桩孔灌注后,经超声波检测,桩基为I类桩。

采用此造浆工艺,桩基成孔质量比较好,截止2005年12月,桩基经超声波检测,全部为I类桩,给

公司带来了良好的社会效益。

8 造浆工艺研究的经济效益

通过造浆工艺的研究和一段时间的工程应用,我们取得了很好的经济效益和社会效益。

(1)如果桩基钻孔造浆采用试验中最优化的淡水造浆,技术性能最好的泥浆是k组,泥浆成本为94.8元/m³,采用不同的造浆工艺后,海水造浆成本为80.5元/m³,2.5 m桩基可节约成本78.7万元,2.8 m桩基可节约成本59.5万元。此造浆工艺研究的应用,仅成本就可节约138.2万元。

(2)经观察发现,本工艺应用后,桩基成孔时间比以前平均缩短了1.5 d。按1.5 d计算,桩基成孔费用按0.2万元/d计算,可节约成本45.6万元。

(3)经以上分析,本造浆工艺的实施,可给项目部产生直接经济效益183.8万元。

9 结论

(1)超大直径海上桩基础施工,施工造浆工艺的选择,要结合工程地质和水文条件,同时兼顾施工条件,并分析施工成本,然后确定造浆工艺。

(2)海水泥浆配比应经过严格的试验,优化分析后确定泥浆配比。应用中要根据具体地质条件,对配比进行微调,以满足施工的需要。

(3)原材料选取与搅拌工艺是决定海水泥浆基本性能的重要原因,所以在施工中要正确操作,确保钻孔泥浆的质量。

参考文献:

- [1] JTJ 041-2000,公路桥涵施工技术规范[S].
- [2] SY 5490-93,钻井液试验用钠膨润土[S].
- [3] 交通部第一公路工程公司.公路施工手册——桥涵(上册)[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [4] 王中文,刘宏波,蔡爱杰.海水泥浆在沿海地区钻孔灌注桩中的应用[J].桥梁建设,2001,(6).
- [5] 杭州湾大桥指挥部.杭州湾跨海大桥专用施工技术规范[Z].2004.