



大直径冲孔灌注桩钢筋保护层影响因素分析

邓宇中, 刘平昌

(重庆交通大学 西南水运工程科学研究所, 重庆 400016)

摘要: 结合大直径冲孔灌注桩实例, 分析冲孔灌注桩钢筋混凝土保护层的主要影响因素——钢筋净距与粗骨料粒径、泥浆密度与泥皮厚度、混凝土坍落度与桩孔直径、混凝土冲量与导管埋深、保护层设计厚度与施工偏差, 并提出预防措施, 为类似灌注桩工程提供参考。

关键词: 灌注桩; 钢筋; 保护层; 影响因素

中图分类号: U 655.54⁺4.1; U 652.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)01-0186-05

Influential factors of steel bar concrete cover in large-diameter bored pile

DENG Yu-zhong, LIU Ping-chang

(Southwest Research Institute of Water Transport Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400016, China)

Abstract: Combining with a large-diameter bored pile example, this article analyzes the main influential factors of the R. C. concrete cover in cast-in-situ pile, i. e. steel bar spacing and coarse aggregate size, slurry density and thickness of mud cake, concrete slump and the pile hole diameter, concrete impulse and tremie pipe depth, thickness of concrete cover design and construction errors, and puts forward prevention measures, to provide reference for similar bored pile engineering.

Keywords: cast-in-situ pile; steel bar; concrete cover; influential factor

大直径灌注桩^[1]是指桩身直径不小于 800 mm 的桩, 单桩承载力较高, 广泛应用于重型建筑物、港口码头、公路铁路桥涵等工程的基础。灌注桩钢筋的混凝土保护层保护钢筋不致锈蚀, 对灌注桩钢筋与混凝土之间的握裹力、结构的耐久性以及整个工程的安全使用寿命有着重要影响。灌注桩施工完成后, 采用超声波等检测方法无法检测到地下灌注桩钢筋保护层的厚度及质量情况, 即使通过开挖桩孔周围的土层, 发现钢筋保护层有质量问题, 也难以处理。因此, 分析冲孔灌注桩钢筋的混凝土保护层的影响因素, 在设计和施工过程中采取预防措施, 避免工程缺陷或事故及经济损失, 具有重要意义。

宜宾码头工程, 最初设计为桥式起重机装卸工艺, 冲孔灌注嵌岩桩基础。开始施工的 4 根

2 000 mm 直径的冲孔灌注嵌岩桩, 在进行桩顶承台基坑土方开挖时, 发现灌注桩钢筋笼外围无混凝土保护层, 而是以泥浆充填, 处理起来很困难。结果这 4 根桩废弃了, 更改设计, 将其码头结构改为矮支墩斜坡缆车码头。本文以这 4 根冲孔灌注嵌岩桩为例, 分析大直径冲孔灌注桩钢筋混凝土保护层的影响因素, 提出预防措施, 为类似工程提供参考。

1 工程实例

1.1 灌注桩设计

宜宾码头工程, 最初设计为桥式起重机装卸工艺, 冲孔灌注嵌岩桩基础, 灌注桩采用水下浇注 C30 钢筋混凝土。其中, 开始施工的 4 根直径为 2 000 mm 的冲孔灌注嵌岩桩, 以 2 根桩为 1 组, 支撑 1 个钢筋混凝土承台。承台顶面与地坪基本

收稿日期: 2014-04-17

作者简介: 邓宇中 (1957—), 男, 高级工程师, 从事港口航道及加筋土工程设计、咨询、工程管理工作。

齐平, 承台混凝土高 2.5 m, 宽 4.0 m, 长 8.0 m。承台下 2 根灌注桩净距 2.4 m, 设计桩长 13.7 ~ 15.9 m, 灌注桩嵌岩深度不小于 3 倍桩径, 桩孔底沉渣厚度不大于 50 mm。灌注桩纵向主钢筋的混凝土净保护层设计厚度为 68 mm, 周边均匀布置 86 根直径为 32 mm 的纵向 II 级钢筋, 2 根钢筋为 1 束, 径向并排, 纵向钢筋净距为 97 mm。箍筋采用直径为 10 mm 的 I 级钢筋, 箍筋间距为 250 mm。桩孔地质条件, 上部覆盖层为杂填土和粉砂土, 厚度约为 10.0 m, 其下为砂岩石层。

1.2 施工

1.2.1 冲孔灌注桩施工工艺流程

宜宾码头灌注嵌岩桩孔临近江边, 地下水较丰富, 无法干作业施工, 故采用机械冲击钻成孔, 泥浆护壁, 浇注水下钢筋混凝土桩。其施工工艺流程如下: 场地平整 → 测桩定位 → 浇筑桩锁口及护壁混凝土 → 桩机就位 → 冲钻成孔 (同时泥浆护壁及循环排渣) → 换浆清孔排渣 → 安放钢筋笼 → 再次检测沉渣厚度 → 浇注水下灌注桩混凝土。

1.2.2 浇筑桩锁口及护壁混凝土

灌注桩锁口及护壁护筒采用现场支模浇筑 C20 混凝土 (添加早强剂)。桩锁口混凝土用于固定和保护桩孔位置, 高出地坪 300 mm, 防止地面水流入。桩孔内浇筑混凝土护壁护筒, 深度到地坪以下 3.0 ~ 4.0 m, 护筒混凝土厚度 200 ~ 250 mm, 护筒内径大于桩孔直径 150 mm。护筒中心线与桩位中心线重合, 偏差不得大于 50 mm。

1.2.3 制备泥浆

冲孔灌注桩的泥浆在桩孔内壁上形成泥皮, 可以将孔壁上的孔隙填堵密实。并且, 孔内泥浆水位比孔外水位高, 泥浆密度较大, 孔内水压比孔外水压大, 泥浆起到稳固土壁、防止塌孔的作用。泥浆的相对密度和黏度指标越大, 孔壁形成的泥皮越厚, 防止塌孔的效果越好。但是, 桩孔壁泥皮太厚可能侵占钢筋保护层的厚度。泥浆的相对密度太大就会影响灌注桩导管输送的水下混凝土向外扩散, 对浇注水下混凝土灌注桩的质量控制不利。因此, 需要根据土质条件和成孔工艺, 合理选择泥浆的性能指标。

根据桩孔地质条件, 该码头冲孔桩覆盖层为杂填土和粉砂土, 厚度约为 10.0 m, 其下为砂岩石层。由于冲击孔的振动, 覆盖土层属于易坍地层。冲孔前, 选用普通黏土在泥浆池中拌制, 试拌泥浆胶体率不小于 95%, 泥浆相对密度 1.20 ~ 1.40, 黏度 22 ~ 30 Pa·s, 含沙率不大于 4%^[2]。

在冲孔过程中, 为了防止土层塌孔, 泥浆密度要求大些, 实测泥浆相对密度为 1.25 ~ 1.30。冲孔完成后, 进行换浆清孔时, 向孔底输入密度为 1.05 ~ 1.08 的新泥浆。泥浆有一定黏度, 通过循环泥浆可将冲孔的泥石渣屑悬浮排出, 起到悬浮排渣排土作用; 同时, 泥浆还可对钻头有冷却和润滑作用。

1.2.4 冲击成孔及清孔

1) 冲击成孔: 宜宾码头工程, 开始施工的 4 根直径为 2 000 mm 的冲孔灌注嵌岩桩, 设计承台下桩长 13.7 ~ 15.9 m, 加上承台土层厚 2.5 m, 冲孔深度应为 16.2 ~ 18.4 m。根据地勘资料, 桩孔位置覆盖层为杂填土和粉砂土, 厚度约为 10.0 m, 其下为砂岩石层。选用 CZ-6B 型冲击钻机成孔, 十字型钻头, 适用各种土层和岩石层, 冲孔孔径 800 ~ 3 000 mm, 冲孔深度小于 40 m, 泥浆护壁及悬浮排渣。冲孔桩机就位后, 冲击锤吊索的中心与成孔位的中心应在同一轴线上, 偏差不大于 20 mm^[2]。冲孔机械钻头直径 1 970 mm, 比设计桩径小 30 mm; 桩基规范要求钻头直径宜比设计孔径小 20 ~ 60 mm^[2]。冲击钻机开孔冲击时, 低锤密击, 冲程 0.5 ~ 1.0 m, 直到开孔深度达到 3 ~ 4 m 时, 进行正常冲击。根据不同的土层和岩层, 冲程在 1.0 ~ 3.0 m 范围内选择。冲击岩面如倾斜或有不平孤石时, 先投入坚硬碎石, 将表面垫平后再冲击钻进。冲孔过程中, 泥浆相对密度控制在 1.25 ~ 1.30 之间, 泥浆循环排出悬浮的泥石渣屑。冲孔完成后, 实际冲孔深度 18.7 ~ 20.0 m, 其中土层深度 10.0 ~ 12.0 m, 嵌岩深度 8.0 ~ 8.7 m。

2) 清孔: 冲孔达到设计要求后, 立即采用换浆清孔法进行清孔。清孔时, 先往孔底投放一些散碎黏土, 用冲击锤低冲程反复击碎孔底沉渣。然后向孔底输入密度为 1.05 ~ 1.08 的新泥浆, 把

桩孔内悬浮大量泥石渣屑的泥浆替换出来。清孔后,实测沉渣厚度为20~40 mm,符合设计要求。根据施工规程,浇注混凝土前,孔内泥浆的相对密度应符合设计规定;当设计无规定时,宜为1.10~1.20^[3]。清孔后及浇注水下混凝土前,实际检测孔内泥浆相对密度为1.17~1.20,满足其施工规程的要求。

1.2.5 钢筋笼制作及吊放

1) 钢筋笼制作:混凝土灌注桩设计直径2 000 mm,纵向主筋混凝土净保护层厚度68 mm,主筋钢筋笼外围直径为1 864 mm,周边均匀布置86根直径为32 mm的纵向Ⅱ级钢筋,2根钢筋为1束,径向并列,纵向钢筋净距为97 mm,箍筋采用直径为10 mm的Ⅰ级钢筋,螺旋箍筋间距为250 mm。为了使钢筋笼有足够的稳定性和刚度,在吊放时钢筋笼主筋不致发生位移和变形,在钢筋笼内圈间隔约2.0 m设置加强钢筋内环,加强钢筋直径25 mm,环形加强筋与主筋点焊。包括螺旋箍筋在内的钢筋笼直径为1 884 mm,在钢筋笼主筋外侧,每隔1.5~2.0 m桩长的周围均匀绑扎4块控制保护层厚的混凝土垫块。垫块用与灌注桩同强度等级的C30细石混凝土预制。垫块边长70~80 mm,厚度比主筋设计净保护层小2~3 mm,即65~66 mm,并预留螺旋箍筋直径嵌入垫块的槽,用预埋在垫块的铁丝牢固绑扎在主筋外侧。纵向主筋间距、螺旋箍筋间距和钢筋笼直径允许偏差均为 ± 10 mm^[2]。

2) 预埋检测钢管:在灌注桩钢筋笼内侧均匀对称预埋4根用于超声波检测的纵向钢管。钢管长度同桩长,外径57 mm,壁厚3.5 mm。钢管下端封闭,上端加盖,管口高出桩混凝土顶面100 mm;管内无异物、光滑、不渗漏水。混凝土桩浇注完成并到期后,用超声波探头放入预埋的钢管内扫描检测灌注桩混凝土的完整性。

3) 钢筋笼吊放:冲孔灌注桩吊放钢筋笼前,先沿桩孔孔壁周围基本对称均匀吊放4根钢管。钢管直径等于钢筋笼混凝土净保护层厚度58 mm(主筋净保护层扣除箍筋直径),选用外径为60 mm的钢管支垫孔壁,以防止钢筋笼碰到孔壁,

留足保护层厚度。如果所冲击的桩孔比设计大,钢筋笼保护层厚度有富余,可适当加大钢管直径,确保钢筋笼顺着钢管居中入孔。当灌注桩混凝土浇注到适当位置时,钢筋笼固定后,将吊放的钢管取出,这样可确保钢筋笼外侧的保护层厚度有足够的空隙。

1.2.6 浇筑水下混凝土

灌注桩水下混凝土设计强度等级为C30,采用42.5 MPa普通硅酸盐水泥、中沙、卵石连续级配粒径5~40 mm、外掺缓凝泵送剂拌制的商品混凝土。混凝土初凝时间260 min,终凝时间380 min,现场实测混凝土塌落度160~200 mm。如发生塌落度不符合要求,需作塌落度调整,不得任意加水,而在施工技术负责人的指导下和监理人员的监督下,采用不低于原配合比的砂浆进行拌合,合格后再使用。混凝土浇注在钢筋笼放到桩孔内后4 h内进行,以防止在钢筋表面形成过厚的泥皮,影响钢筋与混凝土之间的粘结强度。

浇注灌注桩水下混凝土前,复测桩孔底沉渣厚度和泥浆密度,均满足设计和规范要求。水下灌注桩混凝土浇注采用导管法,导管直径为250 mm,导管顶部设置灌斗。商品混凝土用搅拌运输车运至施工工地后,再用泵将混凝土输送到桩孔上方导管顶部设置的灌斗。灌斗里混凝土满后,突然打开斗门,集中的混凝土依靠重力顺着导管冲入桩孔内,并在导管下端出口扩散,向外挤压混凝土到桩孔周围。浇注首批混凝土时,导管底与桩孔底距离0.3~0.5 m,埋管深度0.8~1.0 m。首批混凝土浇注正常后,一斗一斗地连续浇注水下混凝土,每斗间隔时间不得超过混凝土的初凝时间^[2]。在混凝土浇注过程中,经常用测量锤探测桩孔混凝土面的上升高度,并适时提升混凝土导管,提升幅度不能太大,混凝土埋管深度2.0~4.0 m。在提升混凝土灌注导管时,上提下插导管,提插幅度在0.5~1.0 m,以增强混凝土向周边扩散,加强桩身与周边岩土的有效结合,增大桩体摩擦力,同时加大混凝土与钢筋的结合力,从而提高桩基的承载力。

1.3 问题及处理

宜宾码头工程, 开始施工的4根2 000 mm直径的冲孔灌注嵌岩桩, 按以上主要施工方法和工艺, 结果出现了质量问题。这4根灌注桩浇注混凝土后约20 d, 用超声波探头放入预埋的钢管内扫描检测, 桩体混凝土完整性良好; 但无法检测到地下灌注桩钢筋的混凝土保护层厚度及质量情况。在进行桩顶承台基坑的土方开挖时, 发现灌注桩钢筋笼周围无混凝土保护层, 基本上是泥浆充填。然后采用沉井混凝土护壁的施工方法, 继续往下挖, 最深的挖了约6 m深土层, 钢筋笼周围仍然无混凝土保护层, 基本上还是泥浆充填。最后, 放弃了这4根混凝土灌注桩及相应的桥式起重机械装卸工艺, 修改设计, 将码头改为矮支墩斜坡缆车码头。

2 钢筋笼保护层影响因素及预防措施

2.1 钢筋净距与粗骨料粒径

根据《港口工程桩基规范》, 灌注桩主筋直径不宜小于16 mm, 其净距不应小于80 mm, 箍筋直径不宜小于8 mm, 间距宜为200~300 mm; 水下灌注桩的粗骨料可选用卵石或碎石, 其最大粒径不得大于钢筋最小净距的1/4, 且不大于40 mm^[2]。该灌注桩主筋设计最小净距为97 mm, 直径10 mm的螺旋箍筋间距为250 mm, 满足其规范设计要求。限于商品混凝土的生产供应情况, 商品混凝土粗骨料采用卵石粒径5~40 mm配制的, 粗骨料最大粒径相对于主筋净距偏大。但是, 粗骨料是连续级配, 大于37.5 mm只占0~5%, 数量小, 且粒径小于钢筋最小净距的1/2以上, 小于19.0 mm占35%~70%^[4]。单纯粗骨料最大粒径偏大, 不至于钢筋笼周围基本没有混凝土保护层, 而是泥浆充填。当然, 粗骨料最大粒径偏大对灌注桩钢筋笼混凝土保护层有影响。如果钢筋净距较小, 混凝土粗骨料粒径较大, 粗骨料不能顺利通过钢筋空隙, 就会影响钢筋笼混凝土保护层的厚度及质量。

预防措施: 在进行灌注桩设计时, 主筋和箍筋及局部加密箍筋的净距不小于桩基规范要求的最小净距80 mm, 并考虑施工允许偏差 ± 10 mm,

且留有富余; 否则, 加大钢筋直径, 增加钢筋净距。桩基规范要求灌注桩水下混凝土粗骨料的粒径不大于钢筋最小净距的1/4, 且不大于40 mm。一般情况, 灌注桩水下混凝土粗骨料粒径宜为5~20 mm, 连续级配。

2.2 护壁泥浆密度与泥皮厚度

泥浆护壁的冲钻灌注桩, 在冲孔过程中, 由于冲孔机械的振动, 为了防止覆盖层塌孔, 护壁泥浆密度较大, 实测该桩孔内泥浆相对密度为1.25~1.30, 在孔壁形成的泥皮可能较厚。冲孔完成后, 换浆清孔时, 没有清除孔壁过厚的泥浆泥皮, 使桩孔直径小于设计尺寸, 泥浆泥皮就会影响钢筋笼混凝土保护层的厚度。清孔后浇注水下混凝土之前, 实测该桩孔内泥浆相对密度为1.17~1.20, 泥浆密度在施工规程范围内偏大^[3]。随着灌注桩水下混凝土的浇注, 孔内泥浆密度逐渐增加, 孔壁泥浆泥皮增厚, 也会影响灌注桩钢筋笼的混凝土保护层厚度。

预防措施: 冲孔完成后清理孔壁, 采用设计桩径尺寸的钻头, 从孔顶到孔底旋转, 清除孔壁过厚的泥浆泥皮, 使孔径不小于设计尺寸, 然后进行换浆清孔。清孔后的泥浆密度, 设计无规定时宜为1.10~1.20^[3], 在不影响塌孔的情况下, 尽量取小值。在浇注灌注桩混凝土过程中, 宜继续换浆, 防止灌注桩水下混凝土的浇注后期, 泥浆密度过大, 影响钢筋笼的混凝土保护层厚度。

2.3 混凝土坍落度与桩孔直径

导管法浇注灌注桩水下混凝土, 桩基技术规范规定坍落度宜为180~220 mm^[1], 现场实测混凝土坍落度为170~200 mm, 基本满足规范要求。坍落度的大小直接影响混凝土的流动性及扩散半径; 当混凝土的坍落度较小时, 混凝土的流动性及扩散半径较小。当桩孔直径较大时, 混凝土扩散到桩孔周边往上挤出泥浆的能力较弱。该灌注桩直径为2 000 mm, 直径较大, 坍落度偏小, 可能对灌注桩钢筋笼混凝土保护层有一定影响。

预防措施: 灌注桩水下混凝土应具有良好的和易性, 粗骨料粒径宜采用5~20 mm连续级配的卵石; 桩孔直径较大时, 坍落度宜采用规定范围

内的较大值 200 ~ 220 mm。灌注水下混凝土过程中,提升浇注导管时,上提下插浇注导管,幅度 0.5 ~ 1.0 m,振动导管下端附近的混凝土,增加其流动性,使混凝土挤压扩散到桩孔周边,提高混凝土的密实度和保护层厚度及质量。如桩孔直径 2.5 ~ 3.5 m,建议采用 2 根导管同时浇注同批混凝土,减小混凝土扩散半径,提高浇注效率。桩孔直径更大,根据经验适当增加浇注导管根数。

2.4 混凝土冲量与导管埋深

导管法浇注灌注桩水下混凝土,若混凝土在导管下端的冲量(质量与速度的乘积)较小,混凝土在导管下端出口向外扩散到桩孔周边的能量就较弱,影响钢筋笼混凝土保护层的厚度及质量。施工规程规定,浇注导管埋管深度宜为 2.0 ~ 6.0 m^[3];该桩孔灌注混凝土埋管深度为 2.0 ~ 4.0 m,在其施工规程范围内。若浇注导管混凝土埋深较大,桩孔内导管外的混凝土压力较大,导管外混凝土阻碍管口混凝土向外扩散的阻力越大。虽有利于提高桩孔内混凝土的密实度,但影响钢筋笼混凝土保护层的厚度及质量,因此浇注导管应选择合理的埋管深度。

预防措施:导管法浇注灌注桩水下混凝土,桩孔导管上端距地坪不小于 2.5 m 的高度安装混凝土灌斗。浇注混凝土时,灌斗装满混凝土后,打开斗门,通过导管集中落下混凝土。混凝土通过导管集中落下并具有一定的高度,冲量较大,有利于提高混凝土向桩孔周边扩散挤压,有利于提高钢筋笼的混凝土保护层质量。切不可将泵送混凝土管道直接通过浇注导管分散浇注水下混凝土,这样,混凝土不集中,冲量小,影响灌注桩水下混凝土浇注质量及钢筋笼保护层厚度。浇注导管混凝土埋深与桩孔直径和浇注导管内径有关;如桩孔直径 > 1 500 mm,浇注导管内径为 300 mm,浇注首批混凝土时,导管底与桩孔底距离 0.3 ~ 0.5 m,导管埋深 0.8 ~ 1.2 m,连续浇注导管正常埋深 2.0 ~ 3.0 m。浇注灌注桩水下混凝土的导管埋深可参阅《钻孔灌注桩设计与施工》^[5]。

2.5 保护层设计厚度与施工偏差

桩基规范要求水下灌注桩的主筋混凝土保护

层厚度,河港不应小于 50 mm,海港不应小于 70 mm;桩成孔直径不小于设计直径^[2]。桩基技术规范第 4.1.2 条,水下灌注桩的主筋混凝土保护层厚度不得小于 50 mm;第 6.2.4 条,泥浆护壁冲钻孔桩,桩径允许偏差 ± 50 mm^[1]。钢筋笼直径允许偏差均为 ± 10 mm。对于桩基技术规范,如主筋保护层设计厚度为 50 mm,桩孔直径允许偏差为 -50 mm,钢筋笼直径允许偏差为 +10 mm,则主筋混凝土保护层厚度可能为 20 mm。因此,单项允许偏差满足规范,综合结果不一定满足规范要求。

预防措施:设计灌注桩钢筋保护层厚度时,应考虑施工允许偏差,并留有富余。建议水下灌注桩的主筋混凝土保护层厚度宜为 100 mm。

3 结论

1) 宜宾码头工程开始施工的 4 根灌注桩,施工方法及工艺基本符合有关规范要求,但还是出现了灌注桩钢筋笼周围无混凝土保护层的问题,基本上是泥浆充填的质量问题。究其原因,主要是粗骨料粒径偏大,水下混凝土灌注后期孔内泥浆密度逐渐增加、孔壁泥浆泥皮增厚,桩孔直径较大,混凝土塌落度偏小及扩散能力较弱,施工方法不当等综合因素欠佳引起的。

2) 影响冲孔灌注桩钢筋混凝土保护层质量的因素较多、较复杂,是综合性的影响因素。设计灌注桩时,同时要考虑施工的允许偏差和实际情况。

3) 分析了冲孔灌注桩钢筋混凝土保护层的主要影响因素:钢筋净距与粗骨料粒径,泥浆密度与泥皮厚度,混凝土塌落度与桩孔直径,混凝土冲量与导管埋深,保护层设计厚度与施工偏差;提出预防措施。

参考文献:

- [1] JGJ 94—2008 建筑桩基技术规范[S].
- [2] JTS 167-4—2012 港口工程桩基规范[S].
- [3] JTJ 248—2001 港口工程灌注桩设计与施工规程[S].
- [4] JTS 202—2011 水运工程混凝土施工规范[S].
- [5] 张忠亭,丁小学. 钻孔灌注桩设计与施工[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.