

doi: 10.11720/wtyht.2019.1464

杜鹏, 刘晓玲, 徐新战, 等. 利用温度检测钻孔灌注桩混凝土拌合物面的研究[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 667–671. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1464>

Du P, Liu X L, Xu X Z, et al. Research on concrete mixture surface detection for bored pile based on temperature[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(3): 667–671. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1464>

利用温度检测钻孔灌注桩混凝土拌合物面的研究

杜鹏¹, 刘晓玲¹, 徐新战², 常镒¹, 付连红³

(1. 海口经济学院, 海南海口 570100; 2. 陕西工程勘察研究院, 陕西西安 710000; 3. 宁波易通建设有限公司, 浙江宁波 315800)

摘要: 基于水化放热原理和室内外试验, 发现混凝土拌合物层和浮浆层两者有明显的温差, 显示可通过温度变化来确定混凝土拌合物灌注高度。据此设计了一种便携式用于判定混凝土拌合物面是否到达设计高度的温控式装置: 在设计桩顶高度位置及其下方 50 cm 处分别埋置一个温度传感器, 在设计桩顶高度下方 50 cm 的温度传感器获得混凝土拌合物的温度峰值, 利用设计桩顶高度位置的温度传感器的温度峰值判定混凝土拌合物顶。建议混凝土拌合物超灌在设计桩顶高度位置即第 2 个温度传感器上方 50 cm, 比规范要求少超灌 0.3 m, 能节约混凝土。

关键词: 钻孔灌注桩; 混凝土拌合物; 浮浆; 泥浆; 温控式装置; 温度传感器

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2019)03-0667-05

0 引言

钻孔灌注桩因具有“显著提高单桩承载力, 减少桩和承台数量, 降低成本; 使用灵活、受力明确、计算简洁”等优点, 在各种建(构)筑物基础中得到了广泛的应用, 且桩径、桩长越来越大。钻孔灌注桩中的混凝土拌合物灌注通常采用导管法。灌注时, 导管插入到孔底, 然后一边灌注混凝土拌合物, 一边起拔导管。在灌注过程中, 混凝土拌合物由下往上升, 且最早灌注的混凝土拌合物位于最上面。在孔中, 需要进行泥浆护壁。另外, 由于混凝土拌合物的离析, 粗骨料下沉, 水泥和细骨料上浮, 形成浮浆层。也就是说, 在灌注混凝土拌合物的过程中, 孔内由上到下存在三层不同的物质, 即泥浆层、浮浆层及混凝土拌合物层。灌注时, 需探测混凝土拌合物面的高度, 确保桩顶混凝土拌合物强度达到设计等级。如探测不准确, 或造成桩顶高度小于设计要求, 此种情况下需要补桩; 或造成桩顶高度大于设计要求, 此种情况下需要截桩, 同时造成混凝土拌合物浪费。

国内外开展混凝土拌合物面高度检测的研究成

果较多^[1-9], 探测方法、工具有测深锤法、钢管取样盒、感应式测深仪、电导式测深仪等。但因为已有桩顶混凝土拌合物面测量仪价格偏高、测量精度低或使用不方便等原因使得实践中, 最常见的桩顶混凝土拌合物面测量仪仍是误差较大的测深锤法。对此, 规范要求混凝土拌合物超灌 0.8~1 m, 不仅造成混凝土拌合物浪费, 而且增加了截桩头的处理费用。本文提供了一种精准、快速、方便检测混凝土拌合物面是否到达设计高度的装置及判断方法。

1 理论基础

水泥熟料主要由四种氧化物组成, 氧化钙(CaO)、氧化硅(SiO₂)、氧化铝(Al₂O₃)和氧化铁(Fe₂O₃)。经过高温煅烧, 形成硅酸三钙(3CaO·SiO₂), 简称为 C₃S; 硅酸二钙(2CaO·SiO₂), 简称为 C₂S; 铝酸三钙(3CaO·Al₂O₃), 简称为 C₃A; 铁铝酸四钙(4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃), 简称为 C₄AF。四种氧化物在常温下保持了高温型矿物结构, 或者结构产生了畸变, 处于较高的能量状态。而混凝土拌合物在硬化过程中, 水泥熟料矿物与水发生水化反应

收稿日期: 2018-12-18; 修回日期: 2019-01-18

基金项目: 海南省重点研发计划项目(ZDYF2017097)

作者简介: 杜鹏(1985-), 男, 硕士, 讲师, 研究方向为桩基工程。

生成水化产物时, 高能量状态转变为稳定状态, 会以热的形式释放能量, 即为水化热。由于水化热影响, 拌合物的温度将逐渐上升。这样, 泥浆层、浮浆层及混凝土拌合物层将出现一个明显的温差。张国强、曹惠宾^[10]研究得出温度测量值在孔中泥浆和混凝土拌合物分界面上下有明显的变化, 但其变化突变性不明显, 温度只能作为参考方法。陈德强^[11]研究得出在泥浆、浮浆和混凝土拌合物的分界面上, 温度测量值有明显变化, 但并未就温度提出合理性的精确测量方法。

2 室内试验研究

2.1 试验装置

混凝土拌合物灌注环境用高 30 cm、体积 20 L 的薄壁钢材料桶模拟 (图 1)。试验前, 按试验要求加工多功能反力架一套, 将材料桶连接于反力架的法兰盘上, 材料桶中心位置处插入不锈钢连杆, 连杆表面如图位置布置 I、II、III、IV 四个 PT100 温度传感器, 该温度传感器量程 0~100 ℃, 精度 0.01 ℃, 分别测量混凝土拌合物层、浮浆层、泥浆层和环境温度。连杆顶部插入多功能反力架顶部预留孔道中, 用螺栓固定。

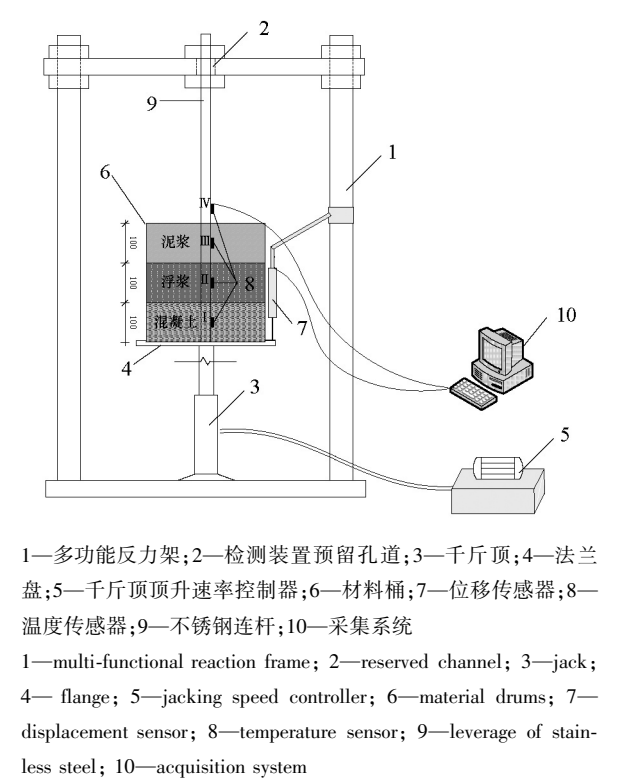


图 1 混凝土拌合物灌注环境模拟装置示意

Fig.1 Diagram of concrete mixture filling environment simulator

2.2 材料制备

室内试验时在材料桶内等体积设置混凝土拌合物、浮浆、泥浆三种材料。

2.2.1 混凝土拌合物

① 混凝土拌合物强度等级为 C30, 坍落度 35~50 mm, 所用材料见表 1。

表 1 混凝土拌合物材料统计

Table 1 Materials for making concrete mixtures	
使用材料	要求标准
水泥	32.5R 级复合硅酸盐水泥
砂	级配 2 区砂, 细度模数 $M_x = 2.7$ 的中砂, 表观密度
	$\rho_g = 1\,690\text{ kg/m}^3$, 含水率 0.57%
石子	碎石, 最大粒径 40 mm, 表观密度 $\rho_g = 1\,390\text{ kg/m}^3$, 含水率 0.84%
水	自来水

将表 1 材料按《普通混凝土拌合物配合比设计规程》进行配合比设计, 1 m³ 混凝土拌合物的配合比为 $m_{\text{水泥}} : m_{\text{砂}} : m_{\text{石}} : m_{\text{水}} = 403.56\text{ kg} : 582.96\text{ kg} : 1\,242.15\text{ kg} : 171.34\text{ kg}$; 其中水灰比 $W/C = 0.46$, 砂率 $\beta_s = 32\%$ 。

② 实验用混凝土拌合物体积 $V = 20/3\text{ L}$, 考虑过程中损失, 实配 $V = 9\text{ L}$, 各种材料所需质量为: $m_{\text{水泥}} : m_{\text{砂}} : m_{\text{石}} : m_{\text{水}} = 3.632\text{ kg} : 5.247\text{ kg} : 11.179\text{ kg} : 1.542\text{ kg}$, 称量, 用混凝土拌合物搅拌机搅拌均匀备用。

2.2.2 浮浆

现场浮浆在灌注过程中经一定时间形成, 粘稠状, 比重 (ρ) 为 1.8 g/cm^3 , 厚度一般 $0.5 \sim 1\text{ m}$ 。室内模拟试验中将其简化为一层人造浮浆层。

① 实际配比: $m_{\text{水}} : m_{\text{水泥}} : m_{\text{膨润土}} : m_{\text{砂}} = 50\text{ kg} : 10\text{ kg} : 20\text{ kg} : 20\text{ kg}$, $\rho = 1.45\text{ g/cm}^3$ 。

② 实验用浮浆 $V = 20/3\text{ L}$, 考虑过程中损失, 实配 $V = 8\text{ L}$, 则各种材料所需质量为: $m_{\text{水}} : m_{\text{水泥}} : m_{\text{膨润土}} : m_{\text{砂}} = 5.8\text{ kg} : 1.16\text{ kg} : 2.32\text{ kg} : 2.32\text{ kg}$, 称量, 用砂浆搅拌机搅拌均匀备用。

2.2.3 泥浆

施工现场为膨胀土或高塑性黏土现场加水搅拌, 比重 $1.1 \sim 1.15\text{ g/cm}^3$, 粘度 $10 \sim 25\text{ Pa} \cdot \text{s}$, 含砂率小于 6%, 胶体率大于 95%。

工程建议水与膨润土比例为 5:1, 试配后测得其比重为 1.1 g/cm^3 , 按试验所需体积 $V = 20/3\text{ L}$ 计算得到: $m_{\text{膨润土}+\text{水}} = 1.1 \times 20/3 \times 1000 = 7.33\text{ kg}$, 则实称 $m_{\text{水}} = 6.11\text{ kg}$, $m_{\text{膨润土}} = 1.22\text{ kg}$, 用砂浆搅拌机搅拌均匀备用。

2.3 试验过程及结果

材料制备完成后,依次分层将混凝土拌合物、浮浆和泥浆装入材料桶中,用刻度尺测量各材料层的高度,各层高度均为 10 cm。材料装入完成后,数据采集系统开始采集数据,时间持续 50 h。整理 I、II、III、IV 号温度传感器记录的结果,得到混凝土拌合物层、浮浆层、泥浆层和环境温度随时间的变化规律(图 2)。

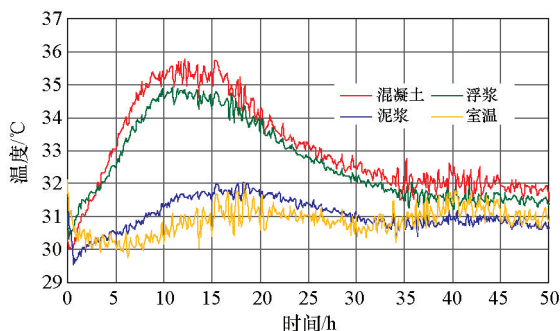


图 2 不同材料层温度随时间变化规律

Fig.2 Diagram of temperature variation of different layers with time

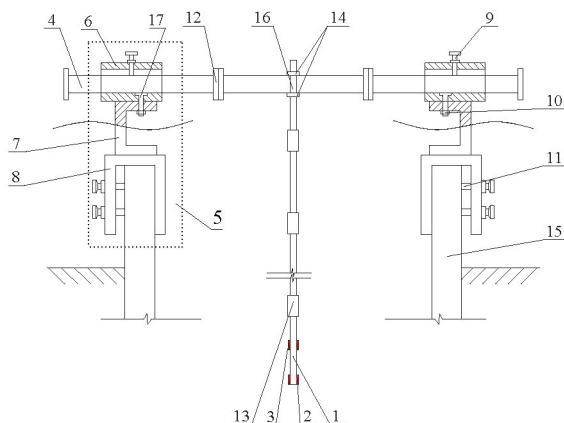
从图 2 可知,不同材料温度变化过程可概括为 3 个阶段:第一阶段为上升阶段,时间为开始到 10 h;第二阶段为稳定阶段,时间为 10~16 h;第三阶段为下降阶段,时间为 16~36 h。随着时间的增长,混凝土拌合物层和浮浆层温度具有显著变化,峰值点处混凝土拌合物温度相较于室温升高约 5℃,浮浆层温度升高约 4℃,而泥浆层温度变化不明显,温度升高 1℃以内。全过程中混凝土拌合物层温度均高于浮浆层,且保持 0.2~1℃的温差。

3 现场试验研究及应用

选择长春—深圳国家级高速公路浙江省湖州段扩容工程第 1 合同段钻孔灌注桩工程,开展了混凝土拌合物顶测量的研究。该工程含基桩 711 根,平均桩长 40.03 m,桩径 1.0~1.6 m。

3.1 现场试验装置

现场试验装置由 3 部分组成:安装支座、顶杆和横梁(图 3)。安装支座与钢护筒装配时,只需要将底槽钢卡入钢护筒侧壁并用第一压紧螺栓压紧即可,且装配后两个部件连接牢固;另外,方套管与中槽钢之间依靠锁紧螺栓连接的设计,可以在需要时旋松螺栓,将方套管水平向转动,以调整横梁的水平摆角,而紧固时螺栓完全容置在 T 型孔内,不会干扰到横梁在方套管内的正常安装。



1—顶杆;2—1 号、2 号温度传感器;3—3 号、4 号温度传感器;4—横梁;5—安装支座;6—方套管;7—中槽钢;8—底槽钢;9—第二压紧螺栓;10—锁紧螺栓;11—第一压紧螺栓;12—法兰盘;13—内螺纹套筒;14—锁紧螺帽;15—钢护筒;16—通孔;17—T 型孔

1—push rod; 2—No.1, No.2 temperature sensor; 3—No.3, No.4 temperature sensor; 4—beam; 5—mounting support; 6—square casing; 7—medium channel steel; 8—bottom channel steel; 9—second compression bolt; 10—lock bolt; 11—first compression bolt; 12—flange; 13—sleeve for internal thread; 14—locking nut; 15—steel cage; 16—hole; 17—T hole

图 3 现场试验装置示意

Fig.3 Field test equipment drawing

横梁由多个梁单体构成,每个梁单体的两端均设有一个法兰盘,每两个相邻的梁单体通过法兰盘螺栓;外端的一个梁单体滑动插接在方套管内,且方套管的顶板上设有螺纹孔,螺纹孔内设有第二压紧螺栓,第二压紧螺栓将该梁单体压紧在方套管的底壁上,该结构可实现横梁长度和顶杆横向位置的双重调节。

顶杆由多根杆件单体构成,每根杆件单体两端均设有外螺纹,每两根相邻的杆件单体经一个内螺纹套筒连接;横梁中间设有一个通孔,最上方的一个杆件单体设有全螺纹,全螺纹上旋有两个锁紧螺帽,最上方的一个杆件单体插入横梁的通孔内,两个锁紧螺帽分别位于通孔的上下两端,可实现顶杆长度的调节。

温度传感器分别布置在顶杆底部及其上方 50 cm 处,为保证试验结果的准确性,在同一高度布置 2 个温度传感器。

3.2 现场试验结果

选择了桩径 1.6 m 的基桩开展现场试验,设计孔深 36.707 m,护筒顶标高 2.707 m,桩顶标高 0.5 m,桩底标高 -34 m,混凝土拌合物 C30,泥浆比重 1.1~1.15 g/cm³,累计灌注混凝土拌合物约 75 m³,灌注时间约 4 h。下面以灌注最后一车混凝土拌合物时的监测结果(图 4、图 5)为例进行分析。

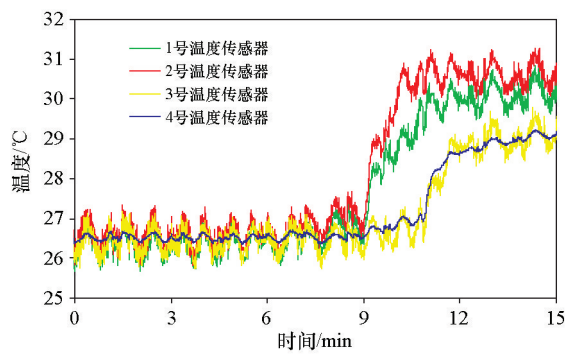


图 4 温度变化曲线
Fig.4 Graph of temperature change

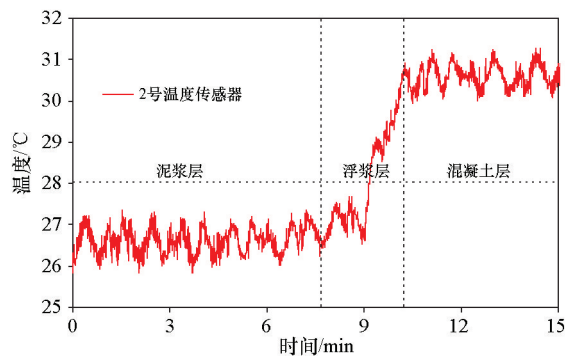


图 5 2 号温度传感器温度变化曲线
Fig.5 Temperature variation curve of no.2 temperature sensor

由图 4 可知:在灌注过程中温度有显著变化,由于该基桩总灌注时间短,故现场温度变化相当于室内试验时第一阶段的开始阶段,且不同高度的温度传感器其温度变化不同,可将其变化过程概括为 3 个阶段——初始水平段、曲线上升段、稳定水平段(图 5):在初始水平段,因为灌注开始,环境和泥浆温度相差不大,因此无论泥浆是否淹没温度传感器,其温度波动较小,基本上处于恒定值;在曲线上升段:当温度传感器接触到新的介质——浮浆时,由于水化热的存在,温度值开始急速上升;随着灌注过程的继续,浮浆高度逐渐上升,温度传感器完全埋入浮浆层并逐渐下探,此时温度继续上升但是上升速度逐步下降,当温度传感器触碰到混凝土拌合物时,温度值达到峰值;在稳定水平段,由于传感器始终埋置混凝土拌合物中,温度值趋于稳定。

浮浆和混凝土拌合物层因水化热均具有使温度传感器变化的特性,从图 4 可以看出,1 号、2 号温度传感器温度平均峰值为 30.5℃,3 号、4 号温度传感器温度平均峰值 29.5℃。根据温度的传递特性,说明 3 号、4 号温度传感器始终没有到达混凝土拌合物面,因此 1 号、2 号温度传感器是浮浆和混凝土拌

合物共同作用的结果,而 3 号、4 号温度传感器仅是浮浆的作用结果,浮浆层和混凝土拌合物层存在 1℃左右的温差。通过现场竹竿和测深锤进一步验证了灌注高度的正确性。

3.3 工程应用

浮浆和混凝土拌合物层有明显的温差,是开展混凝土拌合物灌注高度研究的前提条件,如何利用温度的差异变化开展混凝土拌合物面检测的研究?混凝土拌合物的水化热除了受水泥型号、矿物成分、水泥用量等自身因素的影响外,还与灌注时间等现场施工环境有关,因此对于每一个工地,甚至每一根基桩,其温度都存在差异,不能用恒定的标准来判定混凝土拌合物灌注高度,而应该根据现场实际而定(图 6):在设计桩顶高度位置及其下方 50 cm 处分别埋置一个温度传感器,利用设计桩顶高度下方 50 cm 的温度传感器获得该基桩混凝土拌合物的温度峰值,再利用设计桩顶高度位置的传感器的温度峰值作为混凝土拌合物顶的判定点。

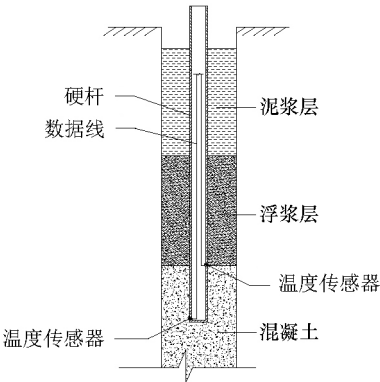


图 6 温度传感器布置
Fig.6 Layout of temperature sensor

随着混凝土拌合物灌注的进行,最早灌注的混凝土拌合物位于最上面,会先接触到位置低的第一个温度传感器,使第一个温度传感器升温到达峰值,故可通过观测该温度传感器获取到峰值。而当第二个温度传感器也到达峰值,可以判断,混凝土拌合物面到达第二个温度传感器的高度,即为实际灌注混凝土拌合物顶到达了桩顶设计高度。为了确保桩顶高度达到设计要求,混凝土拌合物超灌在设计桩顶高度位置即第 2 个温度传感器上方 0.5 m。

4 结论

1) 通过对泥浆、浮浆和混凝土拌合物的温度变化室内试验可知,随着时间的增长,混凝土拌合物层和浮浆层温度有显著变化,混凝土拌合物层温度高

于浮浆层,两者有明显的温差。泥浆层温度最低且变化不明显。

2) 在设计桩顶高度位置及其下方 50 cm 处分别埋置一个温度传感器,利用设计桩顶高度下方 50 cm 的温度传感器获得混凝土拌合物的温度峰值,再利用设计桩顶高度位置的传感器的温度峰值判定混凝土拌合物顶。

3) 为了确保桩顶高度达到设计要求,混凝土拌合物超灌在设计桩顶高度位置即第 2 个温度传感器上方 50 cm。

参考文献 (References):

[1] 邵春,鄢泰宁,兰凯,等.超声波测钻孔灌注桩混凝土拌合物灌注面高程的研究[J].工程勘察,2009(6):74-78.
Shao C, Yan T N, Lan K, et al. Study on altitude measurement of concrete injection surface of bored pile with ultrasonic wave[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2009(6):74-78.

[2] 付祖良.钻孔灌注桩水下混凝土拌合物灌注技术研究与应用[D].武汉:华中科技大学,2006.
Fu Z L. Research and Application on the Technology of Pouring Concrete of Bored Piles Under Water[D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2006.

[3] Du P, Liu X L, Fan J L, et al. Review of Research on Elevation Positioning of Concrete Filling Surface of Bored Piles[C]// 2018 International Conference on Civil and Hydraulic Engineering, Qingdao, China, Institute of Physics Publishing, 2018.

[4] 李亮亮,卢士涛,冯玉国,等.低标高桩顶水下钻孔灌注桩混凝土拌合物超灌高度控制装置研制[J].施工技术,2017,46(1):36-38.
Li L L, Lu S T, Feng Y G, et al. Development of control device of concreting in excess for bored pile underwater with low elevation

pile head[J]. Construction Technology, 2017,46(1):36-38.

[5] 张磊,崔建军,李建辉.超长细比钻孔灌注桩施工技术研究[J].建筑技术开发,2017,44(20):92-94.
Zhang L, Cui J J, Li J H. Study on constrution technique of super slenderness ratio bord pile[J]. Building Technology Development, 2017,44(20):92-94.

[6] 张海滨,孙杰,等.混凝土拌合物灌注桩灌注高度控制装置及其使用方法[P].中国专利,CN106013160 A,2016-10-12.
Zhang H B, Sun J, et al. Filling Height Control Device of Concrete Mixture in Bored Piles and its Application Method[P]. Chinese Patent, CN106013160A, 2016-10-12.

[7] 兰凯.钻孔桩砼灌面超声波测量的关键技术及其实现[D].北京:中国地质大学,2008.
Lan K. Key technologies on using ultrasonic method for concrete casting level measurement in bored pile foundation and its realization[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2008.

[8] 连绍平.采用探测杆测定桩顶砼面[J].探矿工程,1999(3):38.
Lian S P. The concrete surface at the top of pile is measured by detecting rod[J]. Exploration Engineering, 1999(3):38.

[9] 朱景萍,刘留春,贺学庆,等.灵江特大桥大直径水下钻孔灌注桩施工技术[J].建筑施工,2007,29(3):211-213.
Zhu J P, Liu L C, He X Q, et al. Construction technology of underw ater big diam eter bored pile for Linjiang super large bridge[J]. Building Construction, 2007,29(3):211-213.

[10] 张国强,曹惠宾.水下混凝土拌合物超灌标高定位研究[J].地质装备,2006(4):33-35.
Zhang G Q, Cao H B. Study on the pouring elevation of underwater concrete[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2006(4):33-35.

[11] 陈德强.采用水下混凝土拌合物灌注标高定位仪进行标高定位的研究[J].价值工程,2018:126-128.
Chen D Q. Research on elevation positioning using underwater concrete pouring elevation locator[J]. Value Engineering, 2018:126-128.

Research on concrete mixture surface detection for bored pile based on temperature

DU Peng¹, LIU Xiao-Ling¹, XU Xin-Zhan², CHANG Qiang¹, FU Lian-Hong³

(1. Haikou College of Economics, Haikou 570100, China; 2. Shaanxi Engineering Investigation Institute, Xi'an 710000, China; 3. Ningbo Yitong Construction Co., Ltd., Ningbo 315800, China)

Abstract: Based on the principle of hydration heat release and indoor and outdoor tests, it is found that there is a significant temperature difference between the concrete mixture layer and the floating slurry layer, indicating that the pouring height of the concrete mixture can be determined by the temperature change. A portable temperature control device is designed to determine whether the concrete mixing surface reaches the designed height, that is to say, a temperature sensor is respectively embedded at the height of the designed pile top and at the height of 50cm below, and the temperature sensor of 50cm below the height of the designed pile top is used to obtain the temperature peak of the concrete mixture, and then the temperature peak of the temperature sensor at the height of the designed pile top is used to determine the concrete mixture top. It is suggested that the concrete mixture should be overfilled at the height of the designed pile top, namely 50cm above the second temperature sensor, which is 0.3m less than the norm and can save concrete.

Key words: bored piles; concrete mixture; laitance; mud; temperature controlled device; temperature sensor