

外砂河特大桥水中承台施工关键技术

匡丕榜 黄文明 刘玥岩 廖良雄 戚培海

中国建筑一局(集团)有限公司, 广东 深圳 518000

[摘要] 由于滨海地区地质条件复杂, 水中承台施工场地内的实际地质情况往往与勘察报告存在差异, 水下开挖清淤与封底难度大。通过对汕头市外砂河特大桥桥梁工程水下承台施工技术的研究实践, 总结了在复杂地质条件下水中承台的施工经验, 可为类似工程项目提供参考。

[关键词] 水下开挖; 围堰; 吸泥; 封底; 承台

DOI: 10.33142/ec.v3i8.2389

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Key Technologies for the Construction of Water Cap of Waisha River Bridge

KUANG Pibang, HUANG Wenming, LIU Yueyan, LIAO Liangxiong, QI Peihai

China Construction First Group Corporation Limited, Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract: Because of the complex geological conditions in coastal area, the actual geological conditions in the construction site of the underwater bearing platform are often different from the survey report, so it is difficult to dredge and seal the bottom of underwater excavation. Based on the research and practice of the construction technology of underwater bearing platform of Waisha River Bridge Project in Shantou City, the construction experience of pile cap in water under complex geological conditions is summarized, which can provide reference for similar engineering projects.

Keywords: underwater excavation; cofferdam; mud suction; bottom sealing; pile cap

1 工程概况

外砂河特大桥位于汕头市龙湖区, 上跨于韩江支流外砂河, 该处河宽约 440m, 钻孔处水深约 4m, 退潮时水深约 3m; 地貌为韩江冲积平原, 沿线主要以该地貌单元为主, 水底绝对标高-3.5~-3.13m 左右, 岸上绝对标高 1~3m, 相对高度 1~2m, 地势均较平坦, 基岩埋深大, 主要为韩江支流, 河流总体呈北西-南东走向, 流向出海口。

外砂河特大桥水中承台系梁共计 9 个墩, 为外砂河特大桥 27#墩~35#墩, 其中 27#墩~28#墩, 32#墩~35#墩为系梁, 29#墩~31#墩为承台。

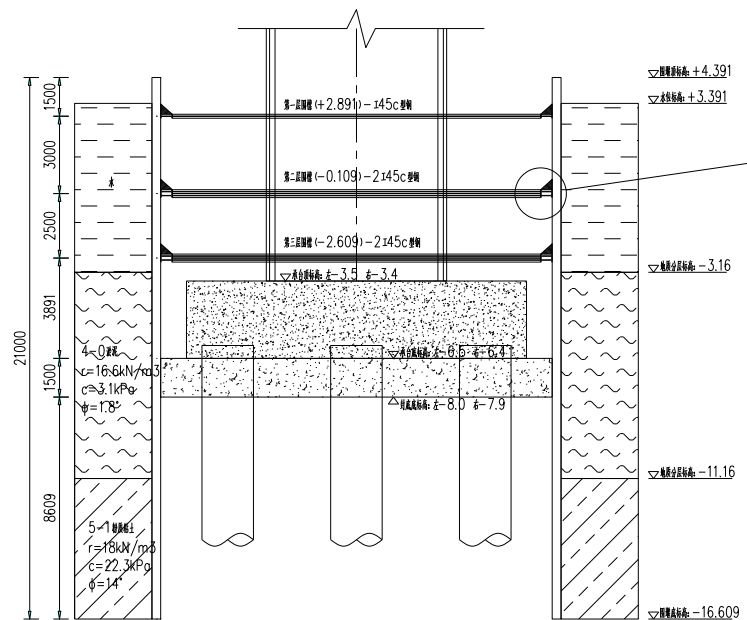


图 1-1 外砂河特大桥承台围堰

根据钻孔揭露的岩土层，桥位区覆盖层由第四系杂填土，海陆交互相淤泥、淤泥质粉质粘土、粉质粘土，以及冲积相粉质粘土、细砂、中砂、粗砂等组成；基底由燕山期花岗岩及其风化层等组成。由于外砂河特大桥桥梁长度较长，桥梁全长为1919m，地质变化频繁，在外砂河特大桥的围堰施工过程中存在实际地质情况与勘察报告不符的情况，从而带来围堰施工过程中清淤与封底困难的问题。

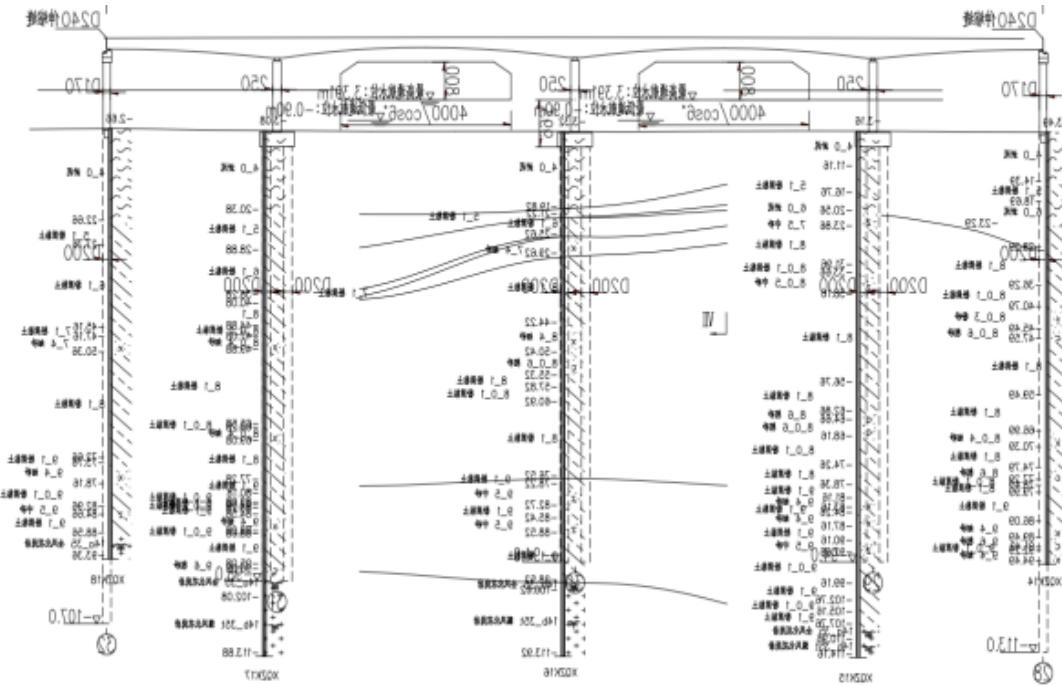


图 1-2 外砂河特大桥地质条件

2 承台基坑水下施工重难点分析

本项目水中承台基坑施工的难点在于：围堰及护筒四周泥沙难以清理到位；水下开挖时基底标高难以控制；水下封底时因无法直视，封底混凝土顶面平整度难以控制；大体积混凝土浇筑的散热控制；承台施工时围堰支撑体系转换的控制。

在地质情况复杂的滨海地区进行承台基坑的水下开挖，围堰选型、开挖方式与开挖机械的选择尤为重要。

3 围堰选型及施工顺序

选择一个合适的围堰的形式可以有利于围堰及护筒四周泥沙清理，加快水下开挖的施工进度，减少护筒对开挖的影响。

围堰最常见的支撑形式为对撑与斜撑，根据桩基护筒的位置选择合适的支撑形式可以有效利用水下开挖机械设备的操作空间。外砂河特大桥 29#、30#、31#右幅原施工方案采用的为井字型对撑，因施工位置土质较硬，为粉质粘土，故在进行左幅施工时采用了八字斜撑的内支撑形式，其余围堰采用了单向对撑形式。



图 3-1 井字对撑



图 3-2 八字斜撑

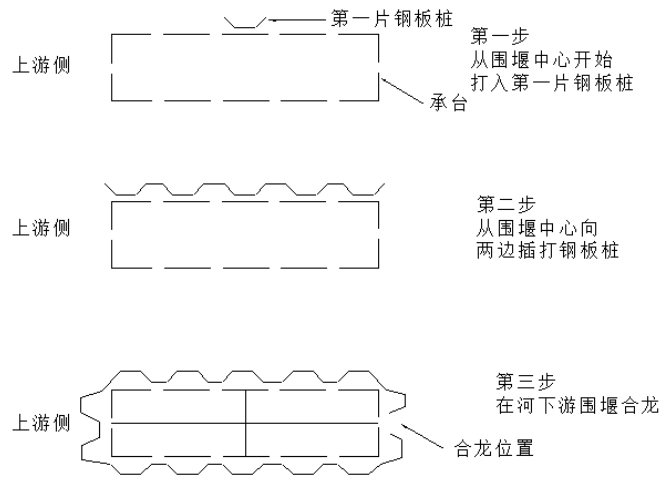


图 3-3 围堰施工顺序

围堰施工的顺序也可对水下承台基坑的开挖起到一定的作用，钢板桩从围堰长边中心开始打入第一片钢板桩，然后逐步向两边插打，在处于河道下游的短边中心合龙。在围堰施工过程中先进行上游的钢板桩施工，至下游合龙。这样不仅可以使围堰内避免淤积泥砂，而且还可以利用水流冲走一部分泥砂，以减少开挖工作量，更重要的是保证围堰施工的安全。

4 水下开挖施工技术

4.1 开挖土质类别

原围堰设计方案考虑到流塑状淤泥最深达 8 米，但在外砂河特大桥主墩承台施工时，对围堰开挖过程中取得的渣土进行分析检测，显示在水中承台开挖范围内土质类别主要为板结的粉质粘土。根据实测地质情况选择合适的方式进行围堰的水下开挖，可有效的加快施工进度。

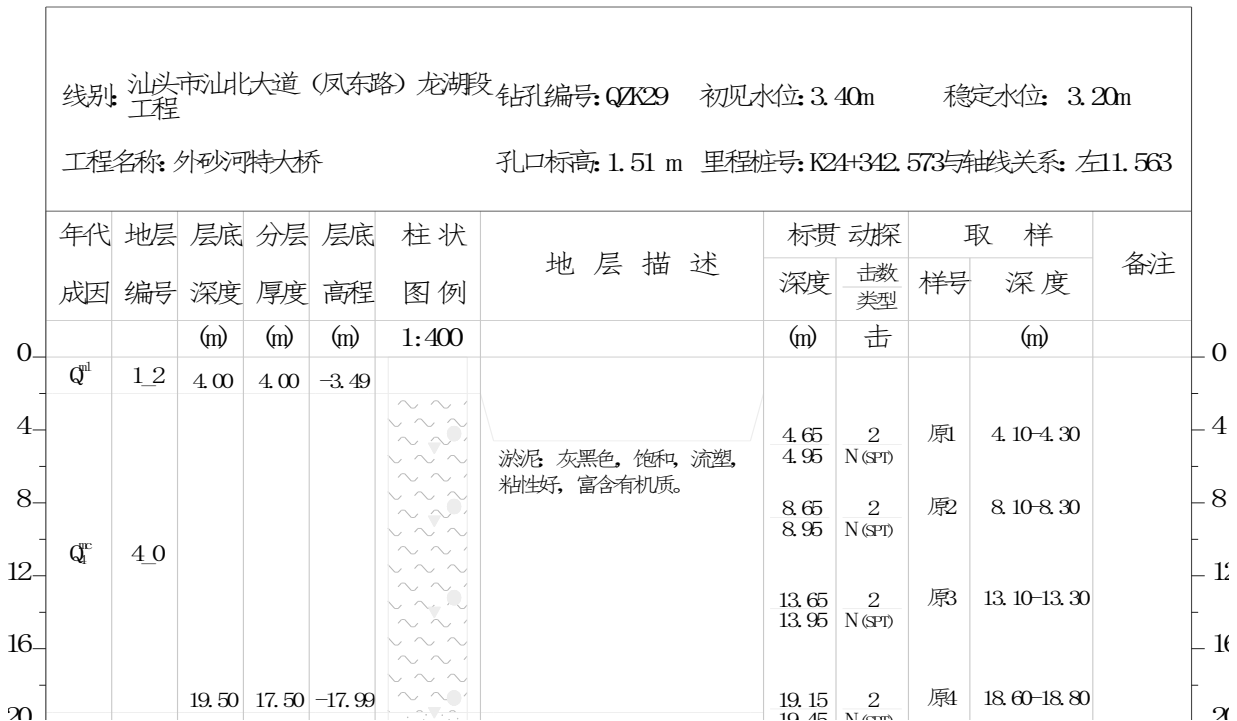


图 4-1 钻孔地质柱状图

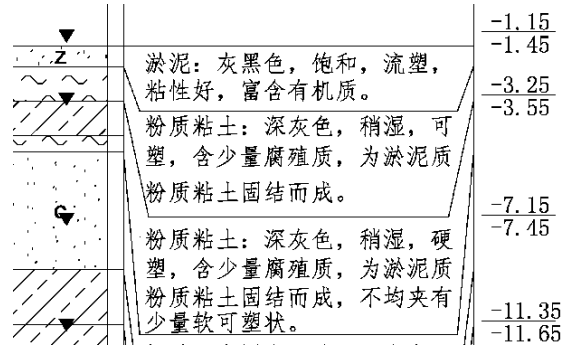


图 4-2 实测土质类别图

4.2 开挖方式的选择

表 4-1 各开挖方式适用条件

开挖形式	适用围堰范围		适用土质类别	平均效率
吸泥	可操作空间大于 0.5 m ²	深度 0~10 米	淤泥、细砂	30m ³ /d
抓斗	可操作空间大于 3 m ²	深度 0~30 米	淤泥质粉质粘土、粉质粘土、中砂、粗砂	40m ³ /d
长臂挖机	可操作空间大于 1 m ²	深度 0~12 米	淤泥、淤泥质粉质粘土、粉质粘土、中砂、粗砂	60m ³ /d

外砂河特大桥围堰施工开挖区域下部土层为粉质粘土，原设计方案仅采用空气吸泥机与高压水枪这一单一的清淤方式已不能满足各工作面施工需要，优化了开挖方案之后，决定采用吸泥、抓斗、长臂挖机进行组合开挖。

外砂河主桥右幅采用的是空间较小的井字形对撑，可操作空间为 2 m²，表层土为淤泥，下部土层为粉质粘土，采用吸泥+长臂挖机的方式进行清淤；左幅采用的是空间较大的八字型对撑，可操作空间大于 3 m²，表层为淤泥和淤泥质粘土，下部土层为粉质粘土和粗砂，采用吸泥+抓斗的方式进行清淤，长臂挖机辅助清淤。

通过外砂河特大桥多种水下开挖方式相结合的开挖方式的实施，显示通过多种水下开挖方式结合可有效的加快水下开挖速度并控制基底标高。

4.3 吸泥开挖

吸泥开挖是采用空气吸泥机配合高压水枪水进行开挖的一种方式，主要适用于工程地质以淤泥、砂层为主，深度不超过 10 米的水中承台基坑。

开挖之前先将护筒用高压水枪将护筒内部的泥冲入基坑内部；采用高压射水切割冲泥，然后用空气吸泥机在基坑内进行吸泥开挖。分别从无内支撑区域、靠近围堰腰部内支撑且靠近基坑轴线附近开始吸泥，周边土体自然向吸泥管口塌落，从而形成大锅底，待开挖至距离设计开挖面 1.0m 时，根据施工过程中具体测量情况向四周移动吸泥机循环作业，从而完成边缘土体的开挖。

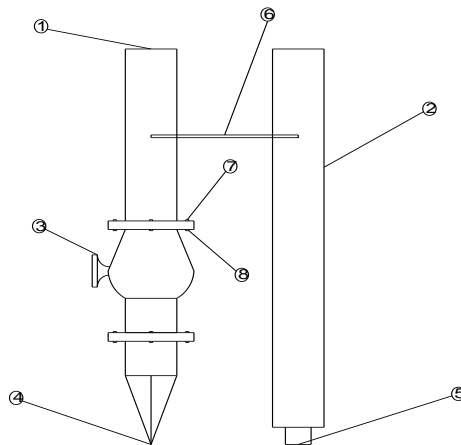


图 4-3 冲击吸泥开挖设备示意图

吸泥过程中需保持内外水位的一致,在吸泥之前先进行第一道内支撑的施工,将围堰内水位降至第一层支撑下 0.5m 位置,安装第一层内支撑,接着向围堰内抽水,使水位回升至与围堰外一致,保持两侧水位一致防止因内外水位差过大而造成翻砂,必要时应用多台水泵向围堰内补水。开挖过程中,每隔 3h 测量一次基坑内水位标高,通过调整降水及抽砂速率确保围堰内外水位高差在 $\pm 50\text{cm}$ 范围内。



图 4-4 泥浆处理设备

泥浆量较大,外运成本极高,做好场平布置,优化施工顺序,通过合理布置泥浆池+泥砂分离设备+场内合理转运,减少外运,同时对设备进行改进,分离出来的砂作为管道回填再用。针对泥浆,项目采取泥浆处理系统进行泥浆净化处理,可以将泥浆分离成达到排放标准的清水和泥沙。

4.4 抓斗开挖

对于土质较硬的地质与开挖较困难位置,采用抓斗开挖。围堰底层主要为粉质粘土与砂石层,且开挖深度超过 10m,在操作空间允许的情况下采用抓斗开挖。



图 4-5 抓斗开挖施工图

利用履带吊停靠于钢栈桥上,抓斗利用履带吊的钢丝绳进行抓斗水下开挖的操作。抓斗插入底泥并闭斗抓取水下淤泥,淤泥将水沥干后直接卸入停在旁边的渣土车中,清出的淤泥通过渣土车运至淤泥堆场。

抓斗式挖泥灵活机动,适合开挖泥层厚度大、较硬土方或夹带较多杂质垃圾的土方;且施工工艺简单,设备容易组织,工程投资较省,施工过程不受天气影响。

抓斗式挖泥对极软弱的底泥敏感度差,开挖中容易产生“掏挖河床下部较硬的地层土方,从而泄露大量表层底泥,尤其是浮泥”的情况;容易造成表层浮泥经搅动后又重新回到水体之中,抓斗式清淤易产生浮泥遗漏、强烈扰动底泥,在以水质改善为目标的清淤工程中往往无法达到原有目的,外砂河特大桥项目水中承台基础均为围堰封闭式开挖,可采用抓斗开挖。

4.5 长臂挖机开挖

围堰只采用吸泥与抓斗的方式进行,桩基护筒与围堰四周的淤泥无法进行开挖,开挖完成后将面临水下封底的难题,很可能增加潜水员水下作业等高风险作业环节。

长臂挖机机械化程度高,需要劳动力少,施工组织简单;施工效率高,工程进度快;采用长臂挖机进行开挖作业配合水下二次封底可以在不派遣潜水员下坑底的情况下保证水下开挖与封底的平整度。

长臂挖机的抓斗的体积较小，对施工作业面的适应性强，作业范围广，对于淤泥、淤泥质粉质粘土、粉质粘土、中砂、粗砂等土质均可进行开挖，大于 1 m²的空间内即可操作，且开挖深度达到 14m。挖掘机长臂可以铺设到其他难以到达的地方，满足各种施工要求，可以伸入围堰与护筒的四周，对空间范围有效和障碍物较多的进行清淤。围堰中心操作空间较大的部位主要采用抓斗开挖，也可采用长臂挖机开挖。围堰及护筒四周泥沙难以清理到位，主要采用长臂挖机进行开挖。

加长后的臂对挖掘机质量要求比较严格，也可以说臂是对挖掘机质量的一次检验，在动作过程中不易离析，因此容易保证工程质量；

在正常工作条件下，长臂挖掘机进行清淤可以将围堰内的淤泥直接运送至渣土车内，不会污染环境，符合环保要求。

5 水下封底关键技术

5.1 围堰监测

在钢板桩围堰水下开挖期间，定期对钢板桩顶的位移进行观测，监测桩顶向基坑内外的偏移量，以保证施工的安全。根据基坑开挖范围和开挖深度，应对基坑本身及周围环境的位移、沉降等多项内容进行监测。当水下开挖进行到一定的深度必须对围堰开挖深度进行实时的测量，以保证开挖标高达到设计标高，并且不超挖。

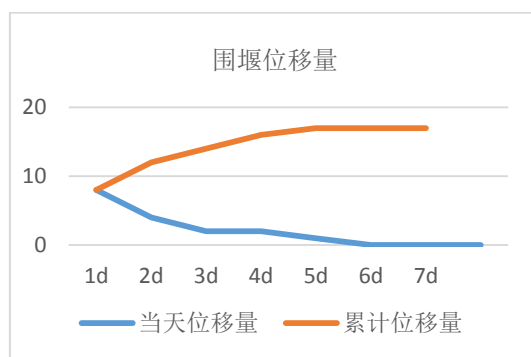


图 5-1 围堰位移量

5.2 水下封底

水下开挖完成后，进行水下混凝土封底浇筑。封底混凝土强度等级采用 C30，厚度采用 1.5m。要注意封底混凝土浇筑顺序和方法，避免影响混凝土的浇筑质量，造成封底失效或渗漏。采用多导管分布浇筑封底混凝土，采用一次性布管法。剪球和浇筑的顺序为：由底往高，从边到中；控制混凝土的扩散半径不超过 3~4m，同时严防先剪球的导管混凝土扩散到附近未剪球的导管位置；导管停注时间不宜超过 30min。

派专人探测混凝土高程，做好各处的测深记录，保证导管埋深不少于 50cm，控制浇筑中混凝土高差小于 50cm，浇筑时平面高差小于 20cm。同时应注意剪球时，导管下口至底部距离不宜过大和过小，防止隔水栓（球）卡管事故，或者首批混凝土扩散后埋置深度不足。

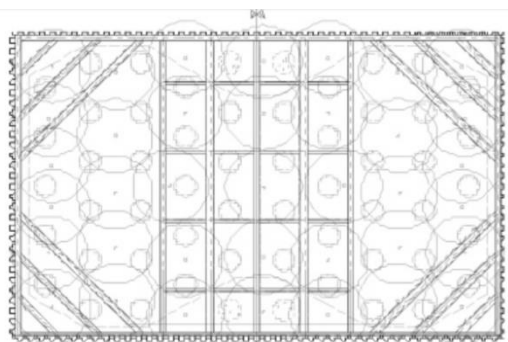


图 5-2 封底混凝土导管布置及浇筑施工工序

按照传统的施工方案，由于水下封底标高控制不准确，浇筑后进行找平需要派遣专业潜水员在混凝土初凝前进行摸底找平，但经过长臂挖机的处理围堰与护筒四周的土层之后再选择二次封底的施工方案可以有效的保证封底的平整度。

第一次封底的厚度约为设计厚度的一半，在降水后进行二次封底，并进行垫层浇筑以保证封底的平整度。

6 承台混凝土施工关键技术

封底混凝土凝固后形成支撑,对围堰起支撑作用,此时可以进行围堰降水并进行水中承台施工。围堰降水至第二道钢支撑以下50cm处时,安装第二道钢支撑以及第一道钢支撑和第二道钢支撑之间的连接;降水至第三道内支撑以下50cm处时,安装第三道钢支撑及其与第二道钢支撑之间的连接构件,此时围堰内外压力差由支撑进行平衡。采用垫层进行找平后即可进行承台放线施工。

水中承台属于大体积混凝土施工,分两层进行浇筑,平均每十平方米布置一个混凝土振捣点,混凝土的浇筑温度控制在30℃以下,并安排在下午3点以后或夜间浇筑。为控制砼水化热,承台内设置2层冷却管,并预埋测温孔,在浇注砼时即开始在管内通水降温,通水时间、水流速度由现场实际情况决定。在砼浇注完成,砼初凝后在承台表面灌入一定高度水,以对砼表面进行温度保护,浇筑完成3天左右水化热达到峰值。

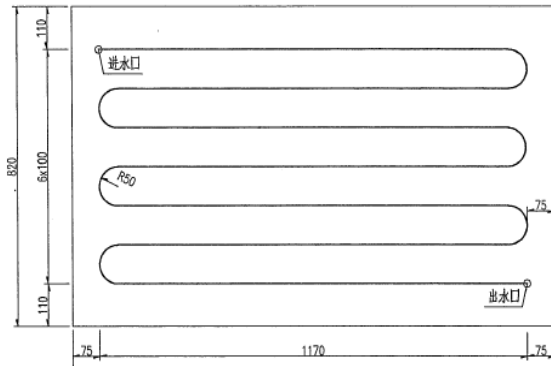


图 6-1 冷却管布置图

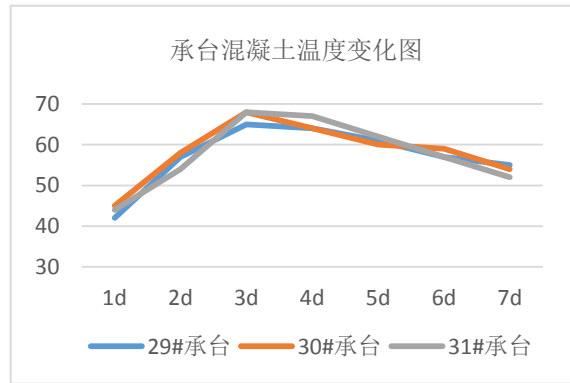


图 6-2 承台混凝土温度变化图

承台浇筑完成后对围堰四周进行粉质粘土的回填和冠梁的浇筑,冠梁与承台形成新的支撑体系,以平衡围堰支撑拆除时的内外压力差。

7 总结

滨海地区复杂的地质条件下,在进行水下承台基坑的开挖的过程中往往会遇到不同的地质情况和围堰形式,导致水下开挖效果不甚理想。外砂河特大桥桥梁工程经过实践,总结出的一套滨海地区复杂地质条件下围堰的开挖方法,并对水下承台封底技术与承台大体积混凝土施工关键技术进行了总结,内容如下:

(1) 通过合理的围堰选型、内撑的设计,有限利用围堰内部操作空间,减少桩基钢护筒对开挖的影响,提高开挖效率。

(2) 围堰水下开挖前,准确掌握围堰内地质条件,采用吸泥开挖、抓斗开挖、长臂挖机开挖等多种形式相结合,克服滨海地区复杂地质条件下水下承台基坑开挖困难与基坑底部找平的问题。

(3) 围堰水下封底时通过导管布置与调整浇筑顺序有效的控制了混凝土顶面的平整度。在承台施工通过冷却管的布设,解决了大体积混凝土水化热问题。

外砂河特大桥桥梁工程通过对围堰施工位置地质情况的实时勘测采用相匹配的围堰支撑类型和开挖方式,并实施这些措施,加快了施工效率,减少了施工成本,极大程度上提高了施工的安全性,取得了良好的社会 and 经济效益,具有一定的推广意义,可为滨海地区复杂地质条件下水下承台基础开挖施工提供参考。

[参考文献]

- [1] 柏江源. 水下开挖法在市政工程深基坑施工中的应用[J]. 江西建材, 2020(03): 94-95.
- [2] 黄天明, 程雪松, 郑刚, 聂东清, 刘杰, 邓楚涵. 基坑局部超挖对周边支护结构的影响机理[J]. 中国港湾建设, 2016, 36(04): 1-5.
- [3] 王卫忠. 泰州长江公路大桥北锚大型沉井封底技术[J]. 交通科技, 2010(01): 40-42.
- [4] 何乐, 王文灿. 轻型井点降水技术的工程应用及改进[J]. 城市建设理论研究, 2015(30): 1260-1261.

作者简介: 匡丕榜 (1998.1-), 男, 毕业院校: 石河子大学, 本科, 土木工程专业, 当前就职于中国建筑一局(集团)有限公司, 担任现场责任师2年, 助理工程师。