

强透水砂卵石层重力式锚碇基坑支护方案研究

王超, 周志兴

(中交二航局第五工程分公司, 湖北 武汉 430040)

摘要:以伍家岗长江大桥江南重力式锚碇为背景,对强透水砂卵石层地质条件进行分析,从施工难度、经济性和安全性方面对比常规锚碇基坑支护方案,提出强透水砂卵石层锚碇基坑采用放坡开挖结合咬合桩支护的基坑支护方案。对实际施工效果进行分析,验证方案的合理性和正确性。

关键词:重力式锚碇;强透水砂卵石层;基坑;方案

重力式锚碇作为悬索桥重要结构,依靠巨大的自重及基底摩阻力来抵抗主缆的竖向分力和水平分力,因此,基础持力层承载力和刚度直接关系大桥的结构安全。传统的设计理念是将锚碇基础底部置于硬岩层之上,基础埋置深度大,依靠基底岩层来承受锚碇自重。岩层的低压缩性和高强度,能够轻易使得锚碇满足变位和强度的要求,埋深一般可达30~50 m,但埋深过大导致基坑支护开挖深度大,基坑支护及防水难度大,安全风险高,锚碇基础则一般采用地连墙支护形式^[1]。

伍家岗长江大桥江南锚碇基础首次将锚碇持力层选择在强透水砂卵石层上,地质条件复杂,基坑开挖较传统深挖基坑有着较大区别。该文主要从地质水文条件出发,结合传统基坑支护工艺和实际特点,研究强透水砂卵石层锚碇基坑支护方案,并根据实际效果验证方案的合理性^[2]。

1 工程概况

伍家岗长江大桥位于湖北宜昌,为双塔钢箱梁悬索桥,主跨1160 m。

江南重力式锚碇设计为直径85 m、深15 m的圆形扩大基础,基坑开挖深度为15.5 m。

1.1 地质条件

根据地表测绘和钻孔揭露,南岸重力锚碇部位覆盖层主要为第四系全新统的人工堆积层和上更新统洪、坡积层等,各地层岩性从上至下分述如下:

①—2层:粉质黏土、含少量碎块石及砾石,呈可塑状;主要分布于南侧柑橘地表部,厚度2.9~5.4 m。

④—1层:粉质黏土,土体内多见细砂团块,多见灰黑色铁锰质结核,偶含砾石;厚2.0~7.8 m,层底高程为61.0~65.6 m。

④—2—1层:含粉土卵砾石土,厚度3.5~9.2 m,局部仅厚0.5 m,层底高程为56.20~60.6 m。

④—2—2层:含中粗砂卵砾石,总体呈中密状,少量呈稍密状。厚5.2~20.6 m,层底高程为38.2~52.9 m。

从岩层上分析,锚碇基底位于不均匀砂卵石层,需充分考虑非岩持力层的承载力问题,因此要对复合地基加固进行研究^[3]。

1.2 水文条件

锚碇位于长江二级阶地,岩层走势类似深沟,是地表水汇集和排泄通道,大气降雨大部顺坡汇入深沟并最终以地下水径流形式流出,导致地下水丰沛,同时受雨季影响明显。

其次,工程区地下水按赋存条件分为第四系孔隙潜水、基岩裂隙水,第四系孔隙潜水较为稳定,基岩裂隙水为弱透水,岩层总体以微透水为主。同时,长江二级阶地与长江处于平行状态,长江水位对锚碇基本无影响。因此,桥址区内以地下水径流为主,经试验,水位长期处于59.0~60.5 m,雨季稍高,受外界补、排影响不大,而锚碇基坑底部标高为55.3 m,试验确认基坑水位降至高程54.53 m时涌水量 Q 为5634.56 m^3/d ,为强透水砂卵石层。

1.3 特点分析

(1) 重力锚基坑开挖深度约15.5 m,开挖面积较大,土层稳定性差。

(2) 地下水丰富且强透水。

综上所述,需采用有效降水或止水措施,并及时支护挡土,且基坑施工完成后需满足基底砂卵石层干燥条件,便于后期进行注浆加固提高锚碇持力层的地基承载力^[4]。

2 总体方案研究

经调研国内外大型基坑支护技术,拟定了以下 4 种施工方案:

- (1) 方案 1:全放坡开挖+地下水引流。
- (2) 方案 2:两级放坡开挖+咬合桩。
- (3) 方案 3:两级放坡开挖+地连墙。
- (4) 方案 4:两级放坡开挖+钻孔灌注桩支护+高压旋喷桩止水帷幕。

2.1 方案 1:全放坡开挖+地下水分流

按照 JGJ 120—2012《建筑基坑支护技术规程》等基坑支护参数计算分析,砂卵石层地质条件适宜采取放坡开挖的方式,结合地理条件和后期地基基础干处理的方式,首先分析全放坡开挖方式(图 1)。

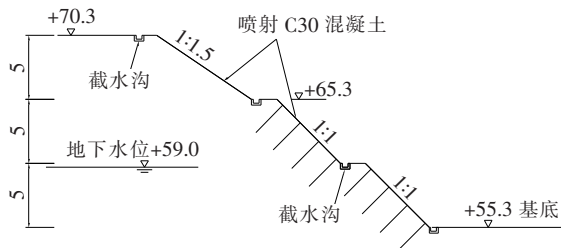


图 1 全放坡开挖方案立面布置图(单位:m)

采用 3 级放坡开挖,每级开挖深度 5 m,1、2 级边坡坡比为 1:1.3 级边坡坡比为 1:1.5。每级平台宽度为 2 m,总开挖直径为 130 m,开挖量为 13 万 m³,而基底处于地下水位以下 3.7 m。

根据地下水常年位于二级阶地的情况,而长江一级阶地高度为 52 m,较基底高度 55.3 m 低,可采用在锚碇上游侧 100 m 的位置开槽打通二级阶地与一级阶地,形成排水通道将锚碇地下水排放至长江,进行地下水引流,达到基底干燥的条件。排水通道开挖深度为 18.3 m 需要同步进行放坡分级支护,开挖长度约 110 m,开挖落差高度为 21 m,总开挖量约为 19 万 m³。该方案解决锚碇地下水的方式为引流,整体开挖方式简单,施工设备组织难度小。但上游侧地下水经侧向开渠引流到长江,可能出现排水不完全,无法达到基坑干施工条件,且对下游地理环境可能造成不可逆的破坏。

2.2 方案 2:两级放坡开挖+咬合桩

两级放坡开挖每级高度 5 m,一级坡比 1:1,二级坡比 1:1.5,开挖直径 139 m,开挖量为 8.7 万 m³(图 2)。

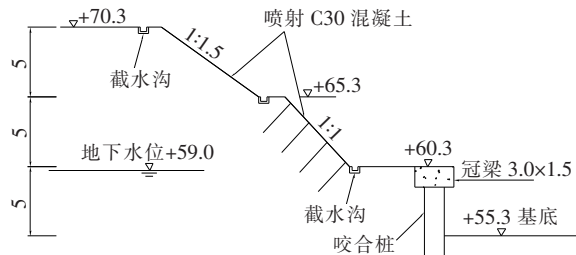


图 2 两级放坡开挖+咬合桩方案立面布置图(单位:m)

咬合桩主要用于房建及地铁项目大型基坑支护。如图 3 所示的素混凝土桩基中间打入钢筋混凝土桩实现桩基之间的咬合,多根排桩相互咬合形成环更具挡土止水的效果。

咬合桩共计 292 根,桩径 1.5 m,桩心距 1.05 m,咬合量为 0.45 m,桩身深入岩层 3 m,根据地层分布桩均长 25 m,可达到挡土止水的效果。咬合桩总体成孔工艺采用旋挖钻成孔,导管法浇筑混凝土。

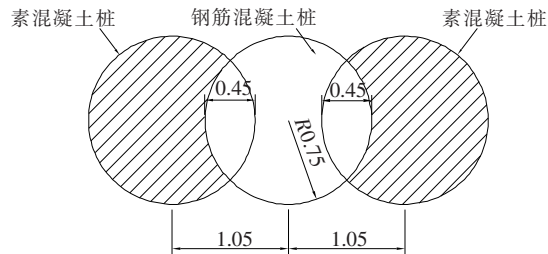


图 3 咬合桩结构示意图(单位:m)

该方案能有效解决地下水止水难题,保障基坑干施工环境,同时两级放坡至地下水位以上,开挖组织及管理均较为简单。但咬合桩结构一般多应用在房建及地铁工程,成桩工艺较为复杂。

2.3 方案 3:两级放坡开挖+地连墙

基坑两级放坡开挖方式与 2.2 节一致。

地下连续墙广泛应用于重力式锚碇基坑支护,适用于开挖深度较深的基坑。其施工为在地面上采用一种挖槽机械,沿着深开挖工程的周边轴线,在泥浆护壁条件下,开挖出一条狭长的深槽,清槽后,在槽内吊放钢筋笼,然后用导管法灌注水下混凝土筑成一个单元槽段,如此逐段进行,在地下筑成一道连续的钢筋混凝土墙壁,作为截水、防渗、挡水结构。

以锚碇基础为边界,采用直径为 85 m,平均深度为 25 m 的地连墙施工,具备挡土防渗作用(图 4)。

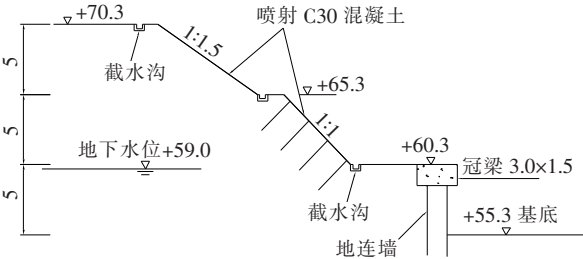


图4 两级放坡开挖+地连墙方案立面示意图(单位:m)

该方案可以保证基坑安全开挖,地连墙止水效果好,是锚碇基坑支护的常规工艺,但其工艺所采用的设备投入量大,对开挖后的场地要求高,施工成本大。

2.4 方案4:两级放坡开挖+钻孔灌注桩支护+高压旋喷桩止水帷幕

基坑两级放坡开挖方式与2.2节一致。

钻孔灌注桩直径为150 cm,桩间距1.8 m(净间距0.3 m),桩底嵌入中风化砾岩层3 m,平均桩长25 m,均为钢筋混凝土桩基,共151根,;灌注桩外侧设一圈高压旋喷桩作为止水帷幕,旋喷桩直径0.8 m,平均桩长25 m,桩顶设置钢筋混凝土冠梁宽3 m、高1.5 m;基坑两级放坡开挖见图5。

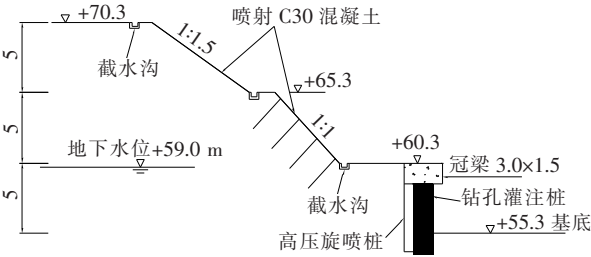


图5 钻孔灌注桩支护+高压旋喷桩止水帷幕立面图(单位:m)

该方案结构施工工艺较为成熟,施工组织管理难度小,但支护效果由钻孔灌注桩和止水帷幕共同决定,施工质量控制难度大。

3 方案对比分析

3.1 工艺难度

大开挖结合地下水引流主要通过机械开挖的方式进行施工,逐级开挖逐级支护,工艺单一,施工难度小。咬合桩目前多采用全套管钻机成孔和旋挖钻成孔工艺,项目选择旋挖钻泥浆护壁成孔工艺,在施工过程中主要控制成孔垂直度,保证相邻孔位切割面的结合度,达到止水效果。目前旋挖钻施工工艺成熟,设备投

入量小,但在砂卵石层施工,存在扩孔率高、塌孔等问题,施工过程中需要重点关注成孔及混凝土灌注情况,以确保成桩质量。

地连墙广泛应用于锚碇深基坑支护结构,具有刚度大,挡土止水效果好,但施工过程中工艺工序较多,应用于砂卵石层时,对泥浆护壁的要求比较高,易出现相邻墙段对接不准确等问题;其次,进入岩层前需要更换抓斗取土为冲击钻,工艺转换衔接难度大;最后,地连墙涉及机械设备需求大,总体上在砂卵石层施工地连墙控制难度较大。

钻孔灌注桩与高压旋喷桩的结合方式与咬合桩有异曲同工之妙,先施工钻孔灌注桩,同样采用旋挖钻成孔,导管法浇筑混凝土,再在钻孔桩外侧施工高压旋喷桩,最后在高压旋喷桩与钻孔桩中间部位进行注浆加固,工艺流程长,涉及机械设备数量多,难度大。

3.2 造价分析

根据工程量计算4种方案人材机投入数量,结合市场询价,计算各方案造价如下:

(1) 方案1:土石方开挖量为32.2万m³,回填量为20.9万m³,土石方开挖综合单价为65元/m³,回填综合单价为5元/m³,总造价为2197.5万元。

(2) 方案2:桩径1.5 m,均长25 m钢筋混凝土桩146根,单桩综合单价为5万元/根;素混凝土桩146根,单桩综合单价为3万元/根;土石方开挖量为8.7万m³,回填量为1.2万m³,总造价为1739.5万元。

(3) 方案3:外圈直径86.5 m,内圈直径85 m,深度25 m的地下连续墙,地连墙混凝土5049 m³,地连墙钢筋1350 t,土石方开挖回填量与方案2相同,总造价为1966.6万元。

(4) 方案4:桩径1.5 m,均长25 m钢筋混凝土桩151根,桩长25m高压旋喷桩151根,高压旋喷桩综合单价为14700元/根,土石方开挖回填量与方案2相同,施工成本总价为1548.5万元。

3.3 安全性

主要对比施工安全管理及相关方面。

大开挖结合地下水引流,开挖量总计达到32.2万m³,一方面弃土量大,而项目周围弃土场选择难度大,开挖深度较其余方案深5 m,基坑稳定性安全风险更高;另一方面存在地下水引流后对二级阶地下游生态环境影响风险,总体开挖环保风险与安全风险都较大。

其余均为两级开挖,开挖量减少,生态环保方面影响减小,附近弃土场可满足要求。

其余3种方案结构安全上均满足挡土止水的效

果,且都存在泥浆处理环节,咬合桩与钻孔灌注桩+高压旋喷桩方案所需泥浆量较地连墙方案所需泥浆量少,泥浆处理难度较小。

从施工安全性方面对比,桩基施工设备单一,数量少,安全管控难度较地连墙施工更简单。

3.4 小结

4 种方案综合比选结果如表 1 所示。

表 1 4 种方案综合比选

| 方案 | 难度 | 造价 | 安全风险 | 方案 | 难度 | 造价 | 安全风险 |
|----|----|----|------|----|----|----|------|
| 1 | 低 | 高 | 高 | 3 | 高 | 中 | 高 |
| 2 | 中 | 中 | 低 | 4 | 高 | 中 | 中 |

大开挖方案存在影响下游生态环境风险,且开挖量较大安全风险较大;地连墙方案施工工艺复杂,施工成本高,质量控制难度大;咬合桩方案相较于高压旋喷桩方案,施工工序较少,施工质量控制难度小,综合考虑选用两级放坡开挖+咬合桩方案,即方案 2。

4 咬合桩施工关键技术

4.1 咬合桩工艺选型

国内外常用的咬合桩施工工艺主要有全套管钻机成孔和旋挖钻泥浆护壁成孔两种。全套管钻机成孔主要通过套管护壁钻进成孔,采用旋挖钻配合钻进取土,采用超缓凝混凝土,在混凝土初凝前进行切割,使相邻两根桩基相互咬合达到挡土止水的效果。旋挖钻成孔与常规桩施工基本相同,先施工素混凝土桩,待其强度较高时再用旋挖钻进行切割后浇筑钢筋混凝土桩,实现桩与桩的咬合。两种工艺比较见表 2。

表 2 咬合桩施工工艺比较

| 项目 | 全套管成孔 | 旋挖钻成孔 |
|------|---------------|-------------|
| 设备投入 | 全套管钻机、旋挖钻、履带吊 | 旋挖钻、汽车吊 |
| 施工难度 | 超缓凝混凝土施工连续性高 | 单根桩基作业,选择性高 |

从设备投入上看,旋挖钻成孔投入少,成本小,施工难度小,工期基本一致,因此选择旋挖钻成孔工艺。

4.2 旋挖钻咬合桩施工工艺施工要点

(1) 在砂卵石层采用旋挖钻泥浆护壁钻进成孔,易发生孔口塌孔现象,需采用护筒导向,精确定桩位。

(2) 钢筋混凝土桩施工时切割两根素混凝土桩,需保证两根素混凝土桩桩顶标高基本一致,保证开始切割期间钻头两侧受力均匀,保证钢筋混凝土桩位。

(3) 泥浆护壁钻进完成后,切割面上可能存在泥浆,必要时采取清理措施,以保证切割面的有效咬合。

(4) 严格控制桩基施工过程中的垂直度,在旋挖钻自身垂直度数据监控的基础上,还需采用其他方法定期监控,确保桩基垂直度,保障后期切割尺寸。

5 方案实施应用效果

伍家岗长江大桥江南锚碇基坑采用两级放坡开挖+咬合桩的施工方 案,基底开挖完成后经基坑监测验证边坡和咬合桩稳定性良好,基坑内外水位监测验证止水效果良好,无渗漏现象,保持了基底干燥,为下一步施工创造了良好的施工环境。

6 结语

通过伍家岗长江大桥江南锚碇基坑支护方案研究与现场应用,提出了砂卵石层大型基坑支护新方案,现场实施的良好效果验证了方案的正确性,拓展了锚碇基础持力层选位,攻克了不良地质条件下锚碇基础支护难题,首次将咬合桩施工技术应用到桥梁锚碇基坑支护结构上,可为今后同类型复杂地质条件下修建大型桥梁工程提供借鉴。

参考文献:

[1] 易智宏,曾纪文.深基坑支护地连墙设计中的几点思考[J].岩土工程学报,2014(z1):138—140.
[2] 张经纬.强透水砂卵石边坡三维有限元渗流稳定分析[D].河北工程大学硕士学位论文,2012.
[3] 黄楚彬,张后登,胡可宁,等.土岩组合地基注浆加固方案研究[J].特种结构,2020,37(2):40—45.
[4] 周昌栋,代明净,王晟磊,等.伍家岗长江大桥浅埋式锚碇基础承载力原位试验研究[J].特种结构,2020,37(4):96—101.