

丰富地下水及复杂地质条件下的 旋挖钻孔灌注桩施工技术

刘洪德

中国水利水电第九工程局有限公司

摘要:毛里求斯M3高速公路Ripailles高原段右侧路堑边坡4处塌方治理(共计1553m)。在D4区域边坡发生多次大范围滑坡,根据设计采用了施工抗滑桩保证边坡永久性稳定。在丰富的地下水和复杂的地层条件下,研究抗滑桩施工技术,采用旋挖钻机钻进成孔,钢护筒护壁,水下混凝土浇筑施工工艺,实现抗滑桩施工满足设计要求。

关键词:丰富地下水;复杂地质;旋挖成孔;钢护筒护壁;水下混凝土浇筑

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.039

一、项目背景

工程项目位于毛里求斯共和国Riailles高原地区,是毛里求斯M1高速连接首都路易港主要干道M3高速公路一段,在Ripailles高原CH5100~CH7300桩号右侧路堑边坡4个区出现滑坡塌方(共计长度1553m)。项目所在区域,长期存在稳定的地下水,尤其在D4区路堑段地下水更为丰富,坡体内长期有水流渗出,造成该区域在项目一期施工过程中右侧坡体出现大面积滑坡,整个Terre Rouge-Verdun 连接道路在主体工程完工,道路投入运营前,CH5100~CH7300桩号右侧路堑二次滑坡导致整个道路长达2年之久迟迟未能正式通车,无论从社会、经济效益方面都造成极大的影响。业主单位对该段边坡治理及道路施工进行了重新招标,在D4区域CH5230~CH5440桩号采取“抗滑桩+边坡回填排水料治理措施”来保证整个区域路堑的永久稳定。

二、基本概况及地质情况

根据招标图纸及地质边坡稳定分析报告,在D4区CH5230~CH5300布置三排抗滑桩,上部边坡两排桩长度20m,下部一排桩长度15m。CH5300~CH5360两层,共4排20m桩。CH5360~CH5440根据现场实际情况分别布置13根26m桩,26根23m桩。抗滑桩抗剪设计580KN,桩直径为 $\varnothing 800$ mm,间距为3.0m,桩身混凝土强度为C35。通过设计分析在CH5230~CH5440段进行“抗滑桩+回填排水料+水平排水管”的综合措施可以将该区域的边坡安全系数由滑坡时的不足1.0提高到1.2以上。

根据招标地质报告描述,D4区域完成的7个地质钻孔情况:CBH01 钻孔25m, CBH02 钻孔15m, CBH03 钻孔35m, CBH04 钻孔10.7m, DBH01 钻孔25m, DBH06 钻孔35m, DBH07 钻孔40m,并有详细的取芯地质描述,芯样照片资料。经过判断地层条件复杂,尤其地下水情况,地下水水位均在地下5m左右,并根据目前现场观察,边坡

渗水量依然较大。为了得到翔实的地质情况,项目开工后对打桩施工区域重新进行了地质补勘。

在地质钻孔中发现不同类型的土壤。相应的定义如下:

- 崩积层(C):运积质。
- 火山渣(S):其多见于钻孔的分米波层;
- 残积土(RS):无可见岩石构造。
- 全风化玄武岩(CWB):岩石在原地被完全风化分解,但仍可见岩石构造。
- 强风化玄武岩(HWB):岩石由于风化作用变得非常脆弱,以至于大块岩石可用手破碎和粉碎。
- 弱风化玄武岩(MWB):被风化的岩石仍然有一些强度较高的不能用手破碎的岩块。
- 微风化至新生玄武岩(B):需采用爆破方式开挖,或多或少存在大量节理;
- 角砾岩:是由尖角碎片嵌入细粒基质中构成的岩石;

根据上述土壤的分类及分析,施工地层复杂多变,地下水丰富,渗水量大。其中黏土层、松散砂土层较厚,分布范围广,局部结合地下渗水,成孔困难。部分渗水量大位置,整个地层10m以上全部呈现松散半饱水砂土,内聚力差,钻机轻微扰动,即出现范围较大的垮塌。尤其按照设计桩位布孔,导致整个设计桩位无法成型。同时,部分位置新鲜玄武岩强度高,钻机进尺困难。

三、施工总体规划

结合土石方开挖施工方案,整个D4区从CH5440开始进行施工作业,分层向下开挖依次形成第一层桩平台、第二层桩平台。在施工中,内边坡按照设计施工图纸控制、外边坡按照钻机施工作业平台宽度要求进行控制(钻机作业距离外侧不小于3m的安全距离)。并考虑实际土质均为砂质土饱水或者降雨条件下,内粘聚力较差,易垮塌滑坡,外边坡按照不大于1:1控制。

(一)第一、二层抗滑桩施工

第一层桩(1、2排)施工作业,桩顶预留0.5m厚的保护层,施工平台修整完成后适度压实,做好临时排水工作。为满足钻机工作平台需要,全部采用块径0.5~1m左右的块石进行平台进场道路铺垫压实。桩施工顺序由CH5390向CH5230方向倒退跳桩施工。

第二层桩施工作业,CH5+230至CH5+300为1排15m桩,CH5+300~CH5390段2排20m桩,CH5+390~CH5+440段2排桩分别23m、26m桩。待第一层桩完成后,按照要

求进行第二层桩平台开挖，整体平台宽度10m，平台高度距离桩顶平台预留50~80cm保护层，平台顶部回填块石，压实满足重型机械通行作业要求。

（二）整断面全护筒施工

开始孔口段采用长度5m、直径1m的护筒进行孔口支护。待孔壁穿过空口松散体后，采用直径900mm的钢护筒全断面跟进护壁，2套钢护筒配合使用。钢护筒的埋设移除均由钻机的动力头配合钻机自带副缆钢丝绳来实现。钻斗配置3套，普通土层的钻进采用截齿捞砂斗、土层条件较好时采用截齿两瓣斗、遇见岩石层更换为岩石截齿取芯斗，桩孔清渣采用截齿捞砂斗。

（三）针对丰富地下水的处理措施

在桩平台基本开挖成型桩施工作业以前，内侧边坡进行水平排水管施工。水平排水管可以显著减低地下水位，有效改善打桩作业过程中的大量渗水情况。水路上游侧或者周围已完成的桩孔预留暂不浇筑，作为降水井设置潜水泵抽水达到降低附近地下水位的目的。混凝土浇筑中的桩孔涌水利用桩平台内侧排水沟进行疏导。

开口线以外5m左右位置开挖截水沟，通过截水沟实现强降雨地表水的拦截，避免附近地表水汇集到施工区域。桩施工作业平台内坡脚修筑排水沟，对场区施工排水进行疏导。

四、主要施工方法

（一）施工过程控制

1. 测量定位及钻机就位

按照设计图纸做好桩位放样，确定的桩位用钢筋头等予以标记并做好保护，并在其周围布置4个十字交叉控制点，以便随时检验校核桩位。

钻机就位时，提前检查旋挖钻机性能及状态，确保开钻后旋挖钻机正常工作。旋挖钻机移至桩位后，通过手动调平钻机，以确保钻杆基本竖直，并通过自动系统调整钻杆保持竖直状态。

钻头准确对准桩位，钻机底座和顶端平稳，不得产生位移或沉陷。校正钻杆垂直度，遇有地质薄弱处，铺垫加厚钢板进行补强。桩机对位后，进行桩位复核。

2. 护筒埋设

精确定出桩位后，开始埋设第一节钢护筒。

埋设钢护筒具体操作：通过定位的控制桩放样，钻斗中旬对准桩孔放样的钢筋头，向下钻孔2至3米，然后把钢护筒吊放进孔内，调整钢护筒垂直，并使钢护筒中心桩孔中心重合。在钢护筒周围回填黏土并夯实。

孔口护筒埋设完成后，开始钻掘施工作业，根据实际钻孔地质情况，采用焊接连接钢护筒，保护钻孔孔壁，避免塌孔和缩径。

3. 旋挖钻机钻进

开始钻孔时，进尺适当控制钻斗钻速，对护筒底部，低档慢速钻进，保证护筒的平稳垂直。钻孔至护筒底部以下1米后，以正常速度钻进。钻孔深超过5至6米时再次检查钻杆垂直度，确保钻孔垂直度误差控制在设

计要求的偏差值内。当钻孔进入土质完整的地层后可适当加快钻机转速，以提高钻进速度。

根据现场地质情况，控制钻孔进尺。由坚硬地层钻到软弱地层时，可以适当加快钻进速度；由软弱地层钻至坚硬地层时，应减慢钻孔速度；出现软弱底层，容易缩径，适当加大扫孔次数，防止缩径。在地质条件好的土层中。采用快速钻进，提高钻孔效率。砂质土层中，采用慢转速慢钻，防止塌孔。在钻孔过程中根据现场地质情况更换钻头，保证钻机在稳定的工况下，钻孔功效。

桩孔钻至设计高程后，对成孔的直径、钻孔深和倾斜度等进行检查，满足设计要求后联系工程师进行终孔检验，并填写终孔检验记录。

4. 清孔及检查

钻孔到设计高程后，更换清渣钻斗，在孔底处进行空转清土，钻杆提升不得旋转钻杆。清孔完成后，测定孔底沉渣，应用测锤测试，测绳每一米标记读书，配合钢卷尺测量孔底沉渣厚度。

清孔达到质量标准后，请工程师验收，合格后准备钢筋笼安装，并将钻机移动至下一个孔位。

5. 钢筋笼制作与安装

根据抗滑桩深度，钢筋笼分2节制作，在钢筋加工厂的专用台架上焊接绑扎。主筋的间距至少采用两个间距定位架进行定位，保证主筋和箍筋的轴线、平顺度和间距控制在误差范围内。

现场钢筋笼吊装采用25t汽车吊起吊，钢筋笼吊点设置钢筋笼最上一层加劲箍处，对称布置，共计两个，下截钢筋笼吊装至孔口后，使用两根直径50mm钢管作为扁担梁横穿钢筋笼最上一层的加颈箍筋，将下截钢筋笼悬挂在钢护筒上，再用汽车吊将上截钢筋笼吊装就位，与下截钢筋笼进行主筋和箍筋的绑扎连接，钢筋笼绑扎连接后，提起连接好的钢筋笼，抽出扁担梁，缓慢下放钢筋笼至孔底。

（二）桩孔混凝土灌注

混凝土浇筑主要考虑水下浇筑施工工艺。主要机具为输送混凝土用的导管、漏斗、储料斗、储料斗底部封口板、隔塞或底盖，配套的灌注平台。

混凝土灌注准确计算首灌混凝土的需求量，确保一次封底成功，混凝土初灌量不小于 2m^3 。在导管安装到位后，在导管内放置略小于导管内径的隔离胶球作为隔离体，隔离泥浆与混凝土，储料斗的导管上口放置一个特制盖板，当储料斗内的混凝土量已满足或大于初灌要求时，拔出储料斗内出口上的盖板，首灌混凝土浇筑后，导管底部一次埋入混凝土面的深度1.5m以上。首灌混凝土下料完成后，继续往料斗内放料，使混凝土连续进入导管。

在混凝土灌注过程中，应注意保持孔内水头。当导管内混凝土不满时，后续混凝土应均匀的放入漏斗和导管，不得快速倾倒，避免在导管内形成高压气囊，挤破

导管橡胶垫圈，或者导管破裂。混凝土灌注时指定人员经常测量混凝土面深度，计算导管埋入深度，并作好记录，指导导管的提升及拆除，导管埋深控制初灌量2m，正常连续灌注3~4m，最小埋深控制在2m，最大埋深不超过6m。

随着孔内混凝土上升，需要逐节快速拆除导管和恢复灌注。混凝土灌注完毕后，报检合格后，完成桩混凝土灌注。

五、施工现场临场处理

(一) 塌孔的预防与处理

预防措施：孔口位置2m深度以内松散土料层，应当在完成1m直径孔口护筒后，分层回填夯实。尤其护筒外壁缝隙必须夯填密实，以阻止砼灌注过程中大量地下水的渗入。

塌孔处理措施：在钻孔过程中由于松散土料造成的大范围垮塌、或者孤石破碎造成的大范围空鼓。选用合适的干性黏土重新对桩孔空鼓、坍塌位置分层回填夯实（每次厚度不大于70cm），采用钻机钻斗进行多次的挤压密实，然后采用土料钻斗重新进行钻进。

严重塌孔处理措施：垮塌严重造成整个桩位附近3m²以上的大面积塌方，并且地下渗水较大，桩孔无法成型的情况。首先做好现场地表水的拦截措施，塌方区域进行松散饱水土层采用干燥黏土进行换填夯实。特殊情况下，可以采用低标号混凝土直接回填形成桩孔位置，在24小时以内重新放桩钻进成孔。

(二) 桩孔偏斜

钻孔倾斜的主要危害在于后续安装钢筋笼时候出现困难，卡笼导致钢筋笼无法安装到设计高程。在本工程施工中主要遇见的问题是较大块径的孤石，在钻机成孔过程中的造成的进尺不稳定“跳钻”等现象发生。在施工中，要求钻机操作人员注意钻机钻杆垂直度的调节，在保证钻斗进尺垂直的情况下，加大对孤石段地层的扫孔次数。

(三) 断桩与夹泥层的预防

导管漏水、导管提漏或者灌注时间过长造成上部混凝土的初凝。在施工中首先注意混凝土质量控制，混凝土的塌落度、和易性满足要求，避免施工中非正常堵管，造成浇筑暂停。其次，注意桩孔混凝土面测深复核准确性，指导提管高度，杜绝提漏等情况发生。

(四) 常见导管事故处理

防止导管事故主要采取以下措施：

防止导管接头抱箍被钢筋笼勾住，严格控制钢筋笼质量。在导管安装连接应当平直可靠，位于钢筋笼中间，混凝土浇筑过程中，平稳垂直提升导管避免勾带钢筋笼。

对导管使用前严格检查、做水密水压试验。发现不合格及时更换。导管拔出后及时清除管壁内外粘的混凝土。

导管的壁厚、连接部位丝扣要定期检查、测定，不

满足要求的要及时进行处理或更换。

六、主要经验总结

(一) 合适的成孔机具选择

选用旋挖钻机较为适合本项目的施工。除松散的砂层、砂卵石层，极软的淤泥层和流塑黏土层和硬岩层外，绝大多数地层均适合旋挖钻孔作业。适应范围广，且成孔速度快。旋挖钻独特的挖掘方式和取土方式使旋挖钻机施工在速度上有着明显优势。较全断面破碎的冲击钻和反循环钻机快5-7倍，施工效率较高。同时施工质量好，在稳定黏土层、砂土层成孔质量高。根据实际砼灌注情况看，实际超方系数在理想地层条件下可以控制在1.05左右。

旋挖钻机运行稳定、设备故障率低，施工综合成本低，良好的设备出勤率，得以保证本项目关键施工任务抗滑桩施工如期完成。设备主要日常消耗为柴油、斗齿配件更换及零星保养，在施工过程中施工综合成本低。

(二) 根据地勘资料选择合适的施工工艺

本工程中，主要考虑施工地层较多为表层砂土层、局部强风化岩土层、地下渗水量大，部分地层存在新鲜玄武岩层。同时施工场地位于原先的滑坡体上，地层内部存在滑移不稳定的风险。因此最终选择振动扰动小的旋挖钻成孔，配置最大15m的全护筒施工工艺，没有采用国内应用较广的泥浆护壁成孔工艺。实际在施工过程中，旋挖钻设备的设备成孔效率高、设备运行稳定的特点得到很好发挥。而全护筒施工工艺可以灵活选择。无地下水渗水或者渗水不足以造成孔壁塌方可以直接造干孔。现场施工选择灵活，极为有效便利。

(三) 合理的现场组织

抗滑桩施工桩孔成型、钢筋笼加工制作安装、混凝土灌注现场工序衔接紧密，需要合理的现场组织协调。在本项目施工中，考虑到工序工程师验收、混凝土供应关键节点，安排专人负责协调。通过良好的配合和现场组织，使得整个桩施工得以顺利完成。

参考文献

- [1] 黄旭华, 袁庆华, 刘洋等. 水平排水技术在工程施工中的应用研究[J]. 岩土工程技术, 2016, 30(2): 15-19.
- [2] 刘恩玉, 李勇, 孙俊生. 钻机性能状态监测与健康评估技术研究[J]. 油气储运, 2013, 32(8): 905-910.
- [3] 张春雷, 王梓, 刘磊. 深水区大面积混凝土水下浇筑工艺研究[J]. 水利水电技术, 2018, 49(1): 91-93.

作者简介：刘洪德，1982年2月生，贵州六枝人，副高级工程师，毕业于贵州大学水利水电工程专业，现就职于中国水利水电第九工程局有限公司，任塞舌尔拉戈西大坝加高项目经理，毛里求斯皮埃尔丰小区基础设施项目经理。