厚卵石覆盖层下岩溶桩基施工

黄九龙　丁育胤
中铁上海工程局集团第五工程有限公司　广西　南宁　530000

摘　要：钻孔灌注桩在厚卵石层、岩溶地质综合条件下，需要根据具体的地质情况，采用回填粘土、片石、水泥、混凝土、钢护筒跟进等不同的处理措施，保证钻孔灌注桩快速、优质成孔。

关键词：渗水；厚卵石层；塌孔；漏浆；回填；泥浆护壁；斜岩；溶洞；护筒

引言

随着我国基建建设的不断发展，对克服大自然的恶劣环境的基础工程越来越多，岩溶问题已成为南方岩溶地区建设面临的主要地质问题，目前主要研究岩溶塌陷与沉陷与可溶岩有关的工程地质问题，重点研究岩溶地区的地面塌陷、分布规律、勘测技术和防治措施；对于岩溶地质下的桩基施工研究内容较少，同时存在强发育岩溶和上覆盖易塌透水卵石层的两种复杂地质在调查中几乎无相关文献及案例。本文通过总结形成一套针对两种复杂地质条件下长桩施工过程中，对泥浆护壁稳定性、钻孔效率提升、桩底成渣控制、成孔效率、成桩质量以及设备工装的选取和应用上的可行性方法。确保在厚卵石覆盖层下岩溶强烈发育的地质条件下长桩施工的安全、质量和工期可靠，为后续类似工程提供宝贵经验，推动建筑业发展。

1 工程概况

1.1 桥梁概况

新建柳梧铁路LWZQ-4标岩溶发育桥梁主要为金田跨平武高速特大桥，桥梁桩基共1190根，φ1.0m为129根，φ1.25m为908根，φ1.5m为153根，桩长7.9m~100m，有溶洞桩929根，占比78%。

1.2 地质概况

桥址区不良地质主要为岩溶：发育于灰岩、泥灰岩中，岩溶发育程度以强烈发育为主，见洞率80.56%，线岩溶率为42%，溶洞规模0.10m~34.6m，埋深2.3~97.6m，溶洞发育的规模大小不等，多为多层串珠状溶洞及溶蚀破碎带，单孔揭露的最多溶洞个数为17个，充填形式全充填、半充填和无充填三种形式，主要充填物为软塑粉质黏土、砂及泥灰岩、灰岩溶蚀碎块[1]。

岩石以上地质有粉质黏土、粉砂、细沙、细圆砾土及卵石土，层厚0~34.7m；地下水位位于原地面以下2~3m，基岩以上不良地质主要为厚透水卵石层。

2 重难点分析

2.1 岩溶分析

溶洞分布：溶洞分布深度2.3~97.6m：①同一区域溶洞填充三种形式依次由上往下大致分布为全填充、半填充和无填充形式；②同一位置溶洞填充类型相一致，相邻位置变化较大。

岩面起伏：岩溶发育、裂隙发育的基岩表面或溶洞底板，基岩面起伏较大、斜岩，钻孔过程中容易偏孔、扩孔，卡钻。

软弱不均：岩溶发育不均、溶洞大小、溶洞填充情况及溶洞位置等因素，造成钻孔平面基岩硬度不一，形成与岩面起伏相类似难度。

溶洞漏浆：击穿溶洞后漏浆，主要为半填充和无填充溶洞，孔内浆液与地下水中和，比重大的泥浆排挤地下水，浆液下降。

卡钻：钻头进入溶洞后受挤压、斜岩、探头石等影响时，提升时锤头不在中心或不垂直上升，容易贴边卡住锤头顶或锤头边块，造成提升困难。

埋钻：溶洞漏浆，孔内失压，护壁坍塌失效，塌孔埋钻；上方溶洞内填充物或回填物滑出掩埋下方锤头。

2.2 卵石层分析

卵石层对护壁强度的影响：卵石层透水性强、自身不能作为孔内造浆材料，护壁内外侧压力差小，钻进速度快，形成的泥皮厚度不足，透水卵石层结合后易产生护壁失效、塌孔。

卵石层对泥浆影响：卵石层透水并夹杂粉砂，冲孔过程中原致密卵石层松动，粉砂、细沙与泥浆混合提高了泥浆中的固相比例，降低了泥浆的絮凝能力，从而降低携渣能力，降低钻进速度。

卵石层对钻孔影响：卵石层中卵石粒径40~80mm的约占25%，80~100mm的约占15%，大于100mm的约占10%，最大粒径为120mm，大粒径卵石在冲击过程中形成探头石，容易脱落并容易卡锤。

易塌：厚卵石层、粉砂层冲击过程中，自身、护壁不稳定，护壁易破坏、卵石层易塌落，周围卵石层向孔

内渐渐位移，地面形成塌陷。

2.3 岩溶与卵石层相结合分析

塌孔：岩溶击破顶板或钻进过程中护壁失效、溶洞二次破裂等均会引发孔内泥浆下降，护壁泥浆下降后，上部易塌卵石层又失去孔内压力支撑，护壁在孔外水压力作用下开始破裂失效，孔外水携带细沙、粉砂流入孔内，卵石层开始大面积垮塌，严重形成地面塌陷[2]。

3 现场实际情况

3.1 溶洞孔内漏浆、塌孔

图1 孔内漏浆最深17m

图2 护筒底卵石与岩石交界面塌孔

3.2 地面塌陷情况

图3 漏浆、塌孔引起的地面塌陷

图4 桩位130m外房屋基础塌陷

4 施工主要措施

4.1 施工原则

坚持先施工长桩再施工短桩，长度一致时施工岩溶更发育桩基，对比溶洞层数和溶洞大小，长度和岩溶发育较难综合判定时，一桩一议进行讨论，以优先首根桩为最难施工、岩溶处理量最大。

4.2 针对岩溶措施

4.2.1 充分回填

根据溶洞大小，以相邻地质柱状图开孔前先预估首根桩基土方回填量，按比例准备片石和黏土备用；钻进过程中漏浆后回填，不漏浆继续回填，回填至土石较难消耗或接近预估量的80%，继续钻进，使得溶洞充分回填，一般片石及黏土混合体积比例为3：7。避免钻机深度超过破除溶洞位置，需要回填垫高孔底再次回填溶洞，反复处理。

4.2.2 改制钻头

为使回填黏土及片石充分、有效挤入溶洞内，定制锥形锤头。

4.2.3 溶洞斜岩处理

基岩面受溶沟、溶槽及破碎带影响，顶面斜岩；溶洞底板受侵蚀影响不平都会影响冲击钻正常钻进；针对斜岩采用抛填母材强度大于基岩强度的片石，每次抛填高度不超过斜岩面处理位置50cm，并用低冲程在斜岩范围内修正，专人专机实时少量多次抛填片石，目的始终确保冲击锤头在斜岩和偏孔位置冲击进行修正，严禁大量抛填、大冲程冲进；原则为修孔和整平，少进尺。

4.2.4 溶洞漏浆

根据逐桩图及交底，冲击钻接近溶洞顶板时采用小冲程击穿顶板，提前备制泥浆、黏土及充足水源，泥浆可用相邻泥浆池抽取；溶洞击穿漏浆后及时进行回填黏土、片石和补充浆液，保持一定水头高度确保上部卵石层不塌孔。反复性漏浆时根据地质判断溶洞大小，按照充分回填原则处理溶洞填充，避免穿过溶洞过多反复回填处理溶洞填充[3]。

4.2.5 卡钻处理

①首先分析卡钻原因，若是锤头上部卵石或填充石掉落卡钻，宜上下抖动锤头，带有冲击能形式让卡点尽量向上移动，尽量避免继续向下滑动造成活动空间减小，同时持续清孔，保持孔底沉渣厚度；②采用小冲锥对卡点进行冲击破碎；③最后以小剂量水下爆破松动提升钻头方法；④若锤头倾倒卡在溶洞孔壁，宜采用一松一紧反复提升，使锤头摆正后提出；⑤牵引提升钢丝绳变化提升角度，容易使锤头脱出溶洞范围；⑥下放小锤

冲击锤身，震动使其摆正；⑦下放打捞勾同时、多角度提升，增大脱出溶洞概率；⑧最后采用水下爆破松动提升钻头方法。

4.2.6 埋钻处理

埋钻处理与卡钻类似，应先通过泥浆循环清孔、小锤冲击等方式将掩埋锤头上的覆盖物清理干净后再进行提升。

4.3 针对卵石层的处理措施

4.3.1 钻进措施

开孔以优质黏性土造浆或其他孔内倒运泥浆（主要控制指标：相对密度1.2~1.4，粘度约20s，失水率小于20ml/30min），在卵石及砂层中易于形成致密、坚韧泥皮；开孔缓进尺、低冲程，使卵石层足够时间形成护壁；开孔前机位支垫稳固，避免前期前支点沉降导致锤头刮蹭孔壁导致护壁坍塌；保持孔内水头高度，确保护壁内外压力差快速形成护壁。

4.3.2 孔内水泥浆加固

易塌卵石层在泥浆护壁不足时，采用浆液内添加水泥胶凝材料加固；水泥添加前适当降低泥浆比重，按照100kg水泥/m³泥浆进行添加，添加水泥后冲击钻反复上下冲击搅动0.5-1h，使得水中自由水泥颗粒在内外压力差下进入护壁中；静置24后进行再次冲孔[4]。

4.3.3 单钢护筒跟进

根据覆盖层厚度，≤ 12m时，采用钢护筒直接跟进至基岩面，护筒长度12m/节，砼灌注后钢护筒可取出。> 12m时，钢护筒下放至12m后，继续钻进，实际卵石层≤ 15m时，采用加长3m钢护筒跟进，成孔后拔出3m钢护筒，清孔后灌注砼。> 15m时，钢护筒不加长，钻进至基岩后，灌注低标号素砼，将基岩面与钢护筒间的卵石层采用砼圈围护。为防止钢护筒与基岩面的不平整，根据实际情况部分钢护筒底部灌注低标号素砼封底。

4.4 其他措施

4.4.1 针对柱桩

易塌地质泥沙含量较高，柱状沉渣厚度要求5cm以内，主要采用提高泥浆比重，一清要彻底，分梯度下调泥浆比重；含砂率未降低时不可持续降低泥浆比重；清孔过程中如遇塌孔则重新下放锤头击碎沉渣，再进行一清后调整泥浆比重。

4.4.2 针对长桩

长桩施工钢丝绳必须整长无明显缺陷，导管壁厚≮5 mm，接头采用套丝接头，现场配置3m³+2m³料斗，百米桩灌注时可采用吊车吊2m³料斗同时灌注；深孔清孔采用双泥浆泵供入泥浆进行循环。钢筋笼现场两根对接焊接，减少下放时间。

4.4.3 针对嵌岩桩

根据实际情况如实记录钻孔记录、检查渣样留存情况，做好实际地质信息与设计地质信息核对表，组织三方进行成孔、嵌岩桩底进行验收；与设计不符的提出异议，重新勘察调整设计桩长。

4.4.4 针对岩溶桩

开孔以低冲程、缓进尺，泥浆池内造浆，各项准备工作充分，减少验收孔时间，钢筋笼在现场拼装24m后整体下放，减少下放钢筋笼时间；浇筑砼前量测孔底沉渣，优先保证桩基砼供应，每盘测定、观测砼性能，连续灌注；岩溶桩基超灌注1m以上，实际根据现场实测液面变化；泥浆比重宜控制在规范上限；泥浆池及时清理，延长回流通道长度，泥沙及时沉淀，清孔设置泥沙分离器[5]。

5 经验总结

第一，目前桩基施工1138根，经超声波成桩检验，判定全部为I类桩。

第二，两种互相结合的地质，应围绕处理的对象是如何保证上部卵石层不塌孔。

第三，溶洞回填数量应根据溶洞大小和实际消纳情况，并非不漏浆就不回填，确保溶洞回填足够，避免砼灌注过程中漏浆。

第四，导管埋深宜较正常规范深，一次封底后后续砼灌注，导管口要预留出气通道，避免继续满灌造成导管内空腔，抖料极易导致导管负压压瘪，导管堵塞造成断桩。

结束语

综上所述，分别采用泥浆护壁、水泥浆护壁、钢护筒跟进，抛填片石、回填粘土、回填混凝土等措施，施工透水厚卵石层岩溶桩基，各项技术指标均满足设计及规范要求，过程中安全、质量可控、施工进度快，效益明显，为后续类似工程提供宝贵经验，推动建筑业发展。

参考文献

[1] 中华人民共和国交通运输部.公路桥涵施工技术规范.JTGT 3650-2020；

[2] 杨庭友,方兴,段军朝.复杂岩溶地区桩基综合施工技术.城市道桥与防洪.1009-7716(2012)07-0228-04；

[3]张波,温玉启.卵石层中钻孔灌注桩施工工艺比较.中国市政工程.1004-4655(2013)03-0091-03；

[4]王刚.深厚卵石层冲孔灌注桩施工质量控制要点分析.建材与装饰.1673-0038(2016) 40-0228-02；

[5]杨文奇.岩溶地区溶洞桩基施工技术.建材与装饰.1673-0038(2016)53-0244-02。