

杜海龙,贺茉莉,罗小斌,等.岩溶地区某广场钻孔灌注桩基础补强加固设计与新技术[J].中国岩溶,2019,38(4):600-606.
DOI:10.11932/karst20190419

岩溶地区某广场钻孔灌注桩基础补强加固设计与新技术

杜海龙¹,贺茉莉²,罗小斌¹,宾斌²,赵铁军²

(1.广西路桥工程集团有限公司,南宁 530011; 2.湖南宏禹工程集团有限公司,长沙 410117)

摘要:为解决岩溶地基上高层建筑桩基缺陷问题,提出了一种采用低坍落度塑性砼对缺陷桩基础进行加固处理的可控压密注浆技术。此技术通过特制高压泵,将强度不低于20 MPa、坍落度不大于50 mm的低坍落度砼压入强岩溶发育地层,形成有效桩径,以改善桩基缺陷。通过现场试验与全面施工,开发出成套施工工艺,有效解决了灰岩地区桩基础持力层缺陷问题。

关键词:岩溶;地基处理;补强加固;低坍落度砼

中图分类号:TU753;P642.25

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2019)04-0600-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

地基基础工程直接影响到整个建筑物的主体结构安全。桩基础是最常见的基础形式之一,桩基础的质量危及到建筑物的使用及安全,对存在缺陷的桩基础需进行加固处理,以确保工程质量达到要求^[1]。常采用增加原有桩基础承载力、补桩、改变基础结构和废除原有桩重新施工等技术对地基缺陷桩基进行加固处理^[2-3],但由于岩溶地区地质条件复杂,溶洞、溶沟、溶隙等发育存在差异性,不同场地对加固处理的方法会有不同要求,因此,对岩溶地基上存在缺陷的桩基础进行处理应综合考虑地质条件、工程质量、施工进度等因素,以选择适用的施工工艺^[4-8]。

本文通过论证分析、现场试验与不断优化改进,研究岩溶地基上某广场桩基础补强加固技术,提出一种低坍落度塑性砼可控压密注浆技术,成功解决了灰岩地区桩基础持力层不满足要求的工程问题,以期为其他类似工程提供参考。

1 研究区概况

某广场1#楼基础设计共有桩基50根,其中核心筒部位为筏板型基础含桩13根,其余37根均为独立桩基础。桩径为1.0~1.8 m,主要为1.4 m,桩长10~35 m,平均为21.3 m。桩基施工完成后,经抽芯检测发现有42根桩存在桩端未深入持力层或进入灰岩层后持力层未满足连续5 m完整岩体的情况。

其主要原因为场地内灰岩地层中岩溶十分发育,溶沟、溶槽深度一般为3~10 m,最深可达20 m,以致桩端实际为岩溶空腔(溶槽)内的薄壳面或充填物,并非能满足承载要求的基岩持力层。场地具体地质情况如下:

(1)场地内地层主要由第四系全新统杂填土层,第四系坡洪积层,二叠系下统茅口组白云质灰岩等组成:

①杂填土(Q_4^m)(①为地层编号,下同):褐黄、褐红、褐灰色,稍湿一湿,松散状态,主要由中风化灰岩岩块及黏性土组成。

②第四系坡、洪、残积含砾粉质黏土($Q^{dl+pl+cl}$):褐

资助项目:长沙市注浆工程技术研究中心(长科发[2018]46号,kh1801132)

第一作者简介:杜海龙(1980—),男,本科,高级工程师,主要从事大型桥梁施工技术研发与管理工作。E-mail:184191742@qq.com。

收稿日期:2019-04-30

红、褐黄色,湿—很湿、局部稍湿,可塑—硬塑状态,局部基岩面附近呈软塑状,不均匀含砾砂,含量约 10%~40%,见角砾及中风化块石。

③二叠系下统茅口组中风化白云质灰岩(P_1m):褐灰色、灰白色杂褐红色,表层不均匀,分布有强风化薄层,主要矿物成分为方解石、白云石及黏土矿物,溶蚀发育,浅部较明显,局部岩溶发育位置可见溶蚀半边岩。

(2)场地内地下水主要为上层滞水和岩溶裂隙水。雨季或大气降水后短期内可能有赋存于杂填土①、含砾粉质黏土②等覆盖层中的上层滞水,不具稳定的地下水面,水位和水量季节性变幅较大;岩溶裂隙水补给、径流条件主要受岩层地质构造、溶蚀及节理裂隙发育程度的控制和影响,赋水情况复杂,水位标高为 202.08~208.45 m,变化大,略具承压性。

2 已查明桩基情况

桩基均按设计推荐桩底高程施工,统计分析表 1 中已有 42 根桩的抽芯资料,桩端所处地层可分为以下三种情况:

表 1 各部位不同欠深桩个数统计表
Table 1 Statistics of numbers of underlying piles at different sites

部位	欠深<3 m	欠深:3~10 m	欠深>10 m
核心筒	1	6	3
核心筒外	12	12	11

(1)含砂、角砾及碎石的黏土层。此类桩共 15 根。

(2)破碎、溶蚀或完整深度不足 5 m 的灰岩,其下存在溶沟、溶槽或溶洞。此类桩共 30 根。

(3)5 m 以上较完整的灰岩。36#、47#两根桩桩端为 5 m 以上完整灰岩。

3 加固设计方案论证

针对前文述及的桩基础缺陷问题,考虑的方案有:增加原有桩基础承载力、补桩、改变基础结构和废除原有桩重新施工四种,具体如下:

- (1)对有缺陷的桩基,两侧补管桩加承台替换;
- (2)挖除全部灌注桩,重新施工桩基础;

- (3)增大底板砼厚度,采取筏板基础;
- (4)桩底基础置换补强加固。

3.1 两侧补管桩加承台替换方案

原有钻孔灌注桩为端承桩,因持力层不满足要求,造成桩的承载力达不到设计标准,采取在原桩的两侧增补两根管桩加承台方案,具体的管桩直径根据原灌注桩的承载力大小确定。先对两根直径 1 000 mm 的桩进行两侧补管桩试验;管桩施工采取锤击桩施工法,施工 3 根管桩,出现如下情况:

- (1)因地层复杂,场区内岩溶发育,管桩打入深度不满足设计要求;局部桩长过短(少于 5 m);
- (2)对地层的扰动较大,地表隆起,原有灌注桩产生了位移;
- (3)核心筒部位的桩两侧补桩的空间不满足施工要求。

由此可见,采取原灌注桩两侧补管桩加承台替换方案较难实现。

3.2 挖除全部灌注桩,重新施工桩基础

采取挖除所有不合格桩的方案有相应的困难。如采取机械拆除,不能大规模施工,否则在岩溶极发育地区的施工震动可能会使相邻建筑物产生地质灾害,且投入较大,又大幅延长建设工期。如人工凿除,由于地下水埋深较浅和承压水的原因也较难实现。

3.3 采用桩+筏板基础改变基础结构

采用桩+筏板基础结构,将原有的桩头凿除 1 m 左右,增设筏板。但该方法需继续开挖基坑不小于 1 m 和扩宽基坑 2 m,这将破坏原有的护壁桩,且其支护体系不满足基坑加深 1 m 后的需求,应对支护体系进行重新设计和加固。该方法施工难度较大、工期延长,会使工程增加不确定性。

3.4 桩基础补强加固方案

采取桩基础补强加固方案,经计算,桩端及极限阻力需要满足如下要求:

- (1)桩底 5 m 深度范围内无土洞、岩体临空面、溶洞、破碎带或软弱夹层等不良地质条件;
- (2)核心筒桩底注浆加固体强度检测,结果应满足桩的极限端阻力标准值不小于 9 000 kPa;
- (3)独立桩基础桩底注浆加固体强度检测,试验结果应满足桩的极限端阻力不小于以下数值:

桩编号:2#、48#、49#、50#桩的极限端阻力标准值不小于8 000 kPa;

桩编号:3#、5#、8#桩的极限端阻力标准值不小于10 000 kPa;

桩编号:12#、32#、40#、41#、45#、46#桩的极限端阻力标准值不小于13 000 kPa;

桩编号:25#、26#、33#、34#、35#、38#桩的极限端阻力标准值不小于15 000 kPa;

桩编号:13#、14#、19#、20#、37#、39#、43#桩的极限端阻力标准值不小于18 000 kPa。

目前采取的高压旋喷注浆置换、桩端和桩侧注浆等常规方法,处理后较难达到桩基础强度不小于8 000 kPa强度和置换范围不小于原桩径的要求。此初步确定采用高压喷射技术对桩底岩溶充填物进行充分切割搅拌,然后下入气举装置进行排渣和复合泥浆置换,最后采用压密注浆技术,灌入水下不分散混凝土,对软弱地层置换,达到对桩底一定深度范围内土洞、岩体临空面、溶洞、破碎带或软弱夹层等进行高强度加固材料置换和周边地层挤密加固的目的,且形成连续的加固体。为确定合适的施工参数与工艺,决定对26#、41#桩基础进行补强加固试验。

4 试桩施工情况及分析

4.1 26#施工情况及分析

直径1 000 mm的26#桩基础加固试验施工采用高喷冲洗切割及气举排渣后压密注浆补强施工措施。共布置4个高喷及注浆孔,桩中中心孔,孔径(φ)为150 mm(气举排浆/泥孔);离中心40 cm处对称布置3个孔,孔径为110 mm,作为压密注浆孔与检查孔。施工布置、钻进地层情况见图1、图2所示,注浆施工情况见表2。

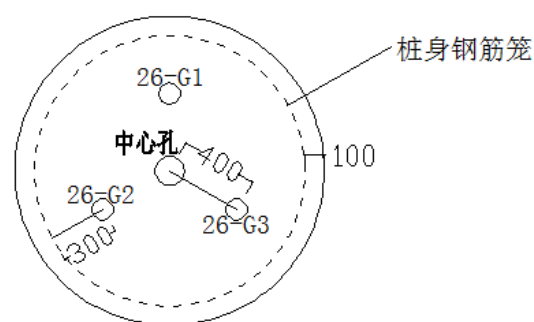


图1 26#钻孔布置图

Fig. 1 26# borehole layout

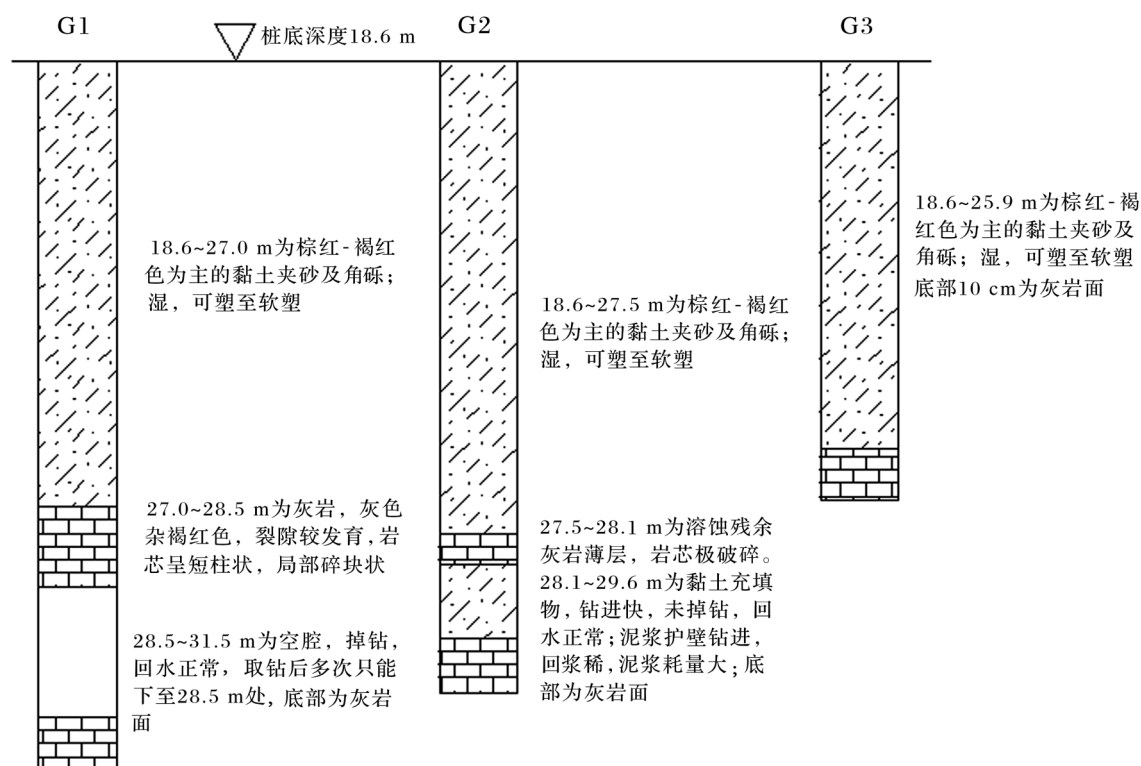


图2 钻孔柱状图

Fig. 2 Borehole logging

表 2 压密注浆施工数据表
Table 2 Data of compaction grouting construction

桩号	孔号	孔深/ m	灌浆/ m ³	段长/ m	单耗/ m ³ ·m ⁻¹	折算半 径/m	灌浆时间 /月.日	情况说明
26	中心孔	28.4	28.5	8.4	3.39	1.04	6.12	中心孔,取芯多为半边,被挤压破坏 G3,取芯较完整,孔深 23.6~25.2 m 处取出的岩芯不连续
	G1	31.5	17.3	8.4	2.06	0.81	6.15	
	G2	29.6	15.6	8.9	1.75	0.75	6.27/30	
	G3	25.9	15.2	7.3	2.08	0.81	6.19	
	J1	27.5						
	J2	26.0						

(1)岩溶发育呈多层化,且相邻钻孔局部差异大;岩溶发育深度大,岩溶充填物中砂、角砾及溶碎岩块含量较大,漏失情况较严重。地层岩溶空间大,高喷时基本为溶洞内循环,返浆量少;气举装置无法下管到位,且排渣少、不持续;在本工程地质条件下高喷及气举效果差;

(2)压密注浆工艺可成功置换桩底土层及岩溶充填物,形成较高强度、一定截面积的异形桩体,局部泥沙角砾碎石较多,易造成桩身不连续,需进行检查及补注。

4.2 41#施工情况及分析

26#试桩施工后,调整了 41#桩施工方案,取消高喷切割和气举置换措施,以中心孔压密注浆为主,其余孔作为检查孔和注浆孔。

41#桩由于原抽芯孔有偏移,孔位布置稍有差异(图 3)。

(1)岩溶发育呈多层化,且相邻钻孔局部差异

大;岩溶充填物中砂、角砾及溶碎岩块含量较大,漏失情况较严重,地层岩溶空间大(图 4)。选取中心孔作为压密注浆孔,其余孔作为检查孔兼注浆孔。可成功整体置换桩底土层及岩溶充填物,形成较高强度、连续的砼结石体。但在局部存在泥沙角砾碎石且溶蚀沟槽发育不够宽大的地段,形成的结石体不连续,需进行检查及反复补注;

(2)注浆孔之间注浆时间应保留相应间隔,否则注浆结石体存在扰动破坏;

(3)溶洞规模较大时,应适当调整配合比和灌浆参数。

4.3 最终处理方案的确定

通过对试验 26#、41#桩施工情况和检查孔成果的分析,确定了压密注浆对桩基下软弱地层置换加固方案。

5 后续桩施工

对后续的 45 根桩进行了桩基补强加固,共完成了桩身砼钻孔 2 096 m、桩身以下 1 949 m 处理,其中溶洞或欠深处理总深度为 1 310 m,灌入砼 2 840 m³,桩身注浆灌入水泥 71 t(水泥浆注浆,处理破碎岩)。

5.1 钻孔布置

直径 1.0 m 的桩在桩身距钢筋笼 20 cm 处两侧各布置 1 个孔(图 5a),直径为 1.2~1.8 m 的桩在桩身距钢筋笼 30 cm 处中心对称布置 3 个孔(图 5b),孔径均为 110 mm。对于部分桩抽芯孔位置并非位于桩中心,且少数桩存在 2 个抽芯孔,实际布孔时应根据桩中抽芯孔位置及个数考虑均衡性原则合理布置。

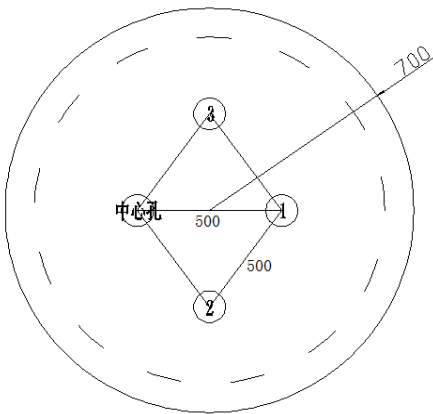


图 3 41#桩孔位布置图
Fig. 3 41# borehole layout

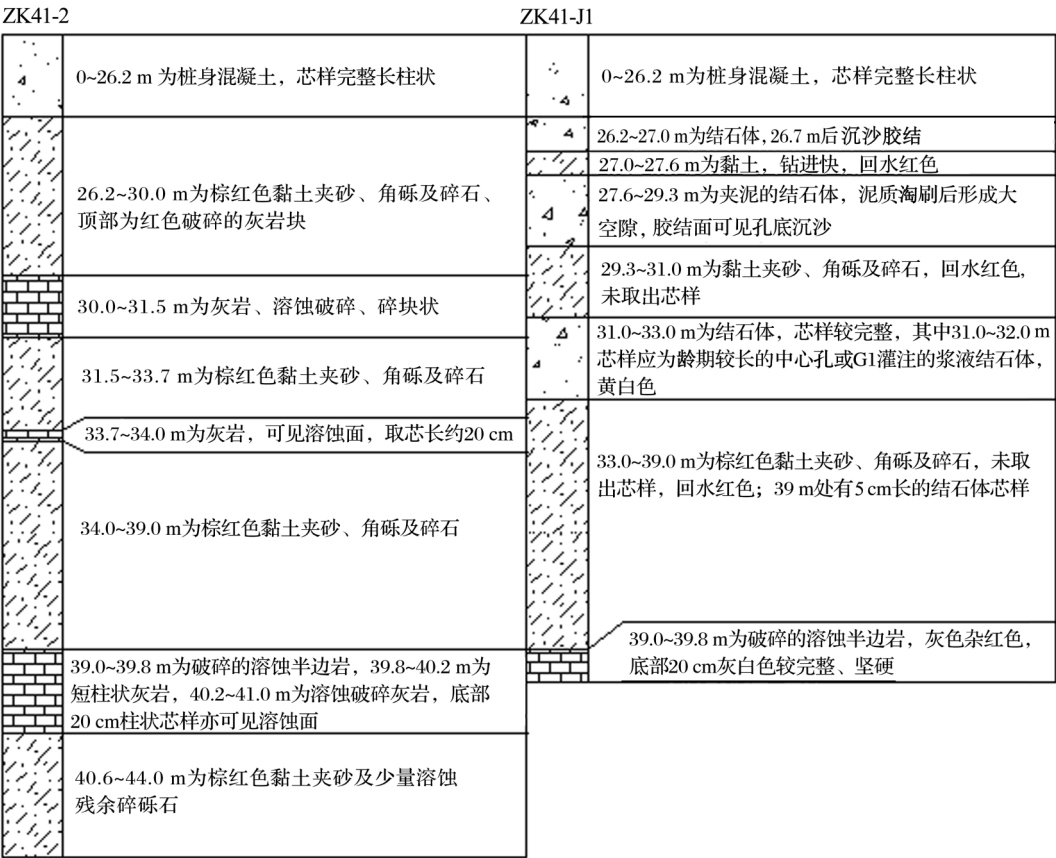


图4 钻孔柱状示意简图
Fig. 4 Schematic borehole logging

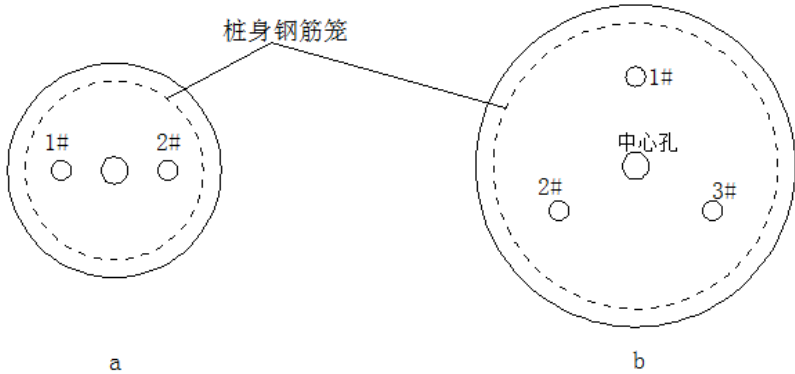


图5 钻孔布置图
Fig. 5 Borehole layout

5.2 钻孔施工技术要求

(1)中心孔施工

- ①如中心孔已进入完整基岩5 m 以上,则对中心孔进行压密注浆桩施工;
- ②如中心孔未进入完整基岩5 m,则继续钻进至5 m 完整基岩,再进行压密注浆桩施工;如钻进过程异常困难,则先对上部进行压密注浆处理,再继续扫

- 孔钻进,如此重复直至进入5 m 以上完整基岩;
- ③待中心压密桩身砼的强度不小于设计强度的70%后,施工1#孔;
- (2)其余施工孔钻孔取芯检查中心孔压密注浆桩成桩直径及桩身连续性,钻至5 m 完整基岩后终孔。如芯样完整连续,则施工下续孔;如芯样不连续,则对不连续部位进行补注,之后再施工下续孔。

最后再进行检查孔施工。

5.3 压密注浆技术要求

- (1)各钻孔最终施工结束时,均应进入完整基岩不小于 5 m;
- (2)对桩身各钻孔依次进行压密注浆施工,间隔至少 3 d;后续孔均先作为前一孔注浆效果检查孔,再进行压密注浆桩施工;

- (3)浆液坍落度控制在 50 mm 内,强度不低于 20 MPa;在土层中,单次拔管段长为 10 cm;拔管达到的最小孔口压力大于 2.0 MPa;
- (4)压密注浆桩施工后检查孔取芯不连续部位,须进行补注;
- (5)原桩底下压密注浆桩的总注浆量,折算成桩径要大于原桩直径的 2.0 倍以上,即每米的注浆总量为原桩每米混凝土量的 4 倍以上(表 3)。

表 3 各直径桩中心压密注浆单耗要求

Table 3 Unit consumption requirements of compaction grouting piles with different diameters

原桩直径/m	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
累计桩身最小单耗/ $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-1}$	1.77~3.14	2.54~4.52	3.46~6.16	4.52~8.04	5.73~10.18

- (6)压密桩施工遇到岩溶空洞时,先进行充填,再进行压密注浆桩施工。

5.4 注浆材料

注入的桩身砼强度要求不低于 20 MPa。

6 效果检查

施工完成后,针对该补强施工进行质量验收,验收方式为桩身静载试验及钻孔取芯。

(1)静载试验

质监站选取了 48#、45#桩进行静载试验,两根桩设计荷载为 7 000 kN,根据验收规范,静载试验需承受荷载 14 000 kN,且沉降观测值不小于 40 mm。2018 年 9 月 14 日至 9 月 27 日进行静载试验,48#、45#桩沉降值分别为 13.50 mm、12.71 mm,试验结果为合格。

(2)钻孔取芯

选取 8#、14#、20#桩进行钻孔抽芯检查,从抽取的芯样(图 6、图 7、图 8)可看出,桩端以下欠深部位均为灌浆砼结石,大体连续,结石中部分有夹泥和包裹砾石情况,但能满足加固桩端持力层要求。

7 结 论

针对岩溶地基上某广场高层建筑物桩基础桩底缺陷问题,通过论证分析与现场试验,提出了一种低坍落度塑性砼可控压密注浆技术。该技术利用特制高压泵将强度不低于 20 MPa、坍落度不大于 50 mm 的低坍落度砼压入强岩溶发育地层,对桩底一定深



图 6 8#桩检查孔抽芯照片

Fig. 6 Photo of core samples from borehole 8#



图 7 14#桩检查孔抽芯照片

Fig. 7 Photo of core samples from borehole 14#



图8 20#桩检查孔抽芯照片

Fig. 8 Photo of core samples from borehole 20#

度范围内土洞、岩体临空面、溶洞、破碎带或软弱夹层等进行高强度加固材料置换并挤密周边地层,以形成连续、有效桩径的加固体,从而改善桩基缺陷。此技术成功有效、快捷、低成本地解决了灰岩地区桩基础持力层不满足工程质量与安全性要求的问题。

参考文献

- [1] 熊志涛,刘鹏瑞,杨涛,等.江夏法泗岩溶塌陷区冲孔桩施工引发岩溶塌陷的成因机理[J].中国岩溶,2018,37(1):120-129.
- [2] 苏磊.钻孔灌注桩缺陷桩处理实践[J].建筑技术,2015,46(S2):259-260.
- [3] 程新伟.浅析桥梁钻孔桩基础质量缺陷的几种成因及其处置和避免措施[J].江西建材,2014(4):189-192.
- [4] 王家全,王宇帆,苏小舟,等.岩溶区灌浆处理桩端缺陷及其质量判定方法研究[J].混凝土,2013,37(4):133-136.
- [5] 石振明,沈丹伟,彭铭,等.岩溶地区桩基施工溶洞处理技术:以吉安永和大桥桩基施工为例[J].工程地质学报,2015,23(6):1160-1167.
- [6] 黄柳云,王家全,吴辉琴.岩溶地区桩基嵌岩缺陷的分析及处理措施[J].广西工学院学报,2012,23(4):13-17.
- [7] 雷健,何刚,邓才广.岩溶地区桩基施工主要事故通病及质量隐患防治对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(1):53-56.
- [8] 张金纯,王海燕.高压喷射注浆法在岩溶区处理冲孔桩基缺陷及桩底溶洞的应用[J].西部探矿工程,2013,25(8):5-6.

A new technology of reinforcement by cast-in-place pile foundation in karst areas

DU Hailong¹, HE Moli², LUO Xiaobin¹, BIN Bin², ZHAO Tiejun²

(1. Guangxi Road and Bridge Engineering Group Co., Ltd., Nanning, Guangxi 530011, China; 2. Hunan Hongyu Engineering Group Co., Ltd., Changsha, Hunan 410117, China)

Abstract To solve the defect of pile foundation of high buildings on karst foundation, this paper proposes a controllable pressure-tight grouting technology that uses low slump plastic concrete to reinforce the defect pile foundation. This technology uses a special high-pressure pump to form an effective pile diameter to improve pile foundation defects, which presses low slump with a strength of no less than 20 MPa and a slump of no more than 50mm into the strong karst development stratum. By means of in-situ tests and full-scale construction, a complete set of construction technology has been developed, which can be effectively applied to the treatment of bearing layer defects of pile foundation in limestone areas.

Key words low slump concrete, controllable compaction grouting, karst, foundation treatment, reinforcement

(编辑 黄晨晖)