

岩溶地区桩基施工主要事故通病及质量隐患防治对策

雷 健, 何 刚, 邓才广

(深圳市孺子牛建设工程有限公司, 广东 深圳 518001)

摘 要:深圳怡龙枫景园桩基工程地处灰岩岩溶地区, 累计完成灌注桩 364 条, 最大成桩桩长 48 m, 最大桩径 1.7 m。施工所遇地层复杂, 频繁出现偏孔、涌水、漏水、坍塌、桩孔底层溶洞判断及灌注中溶洞洞穿等难题, 以科学判断, 严密预防, 慎重处置, 取得了良好的效果。

关键词:钻孔灌注桩; 事故; 防治对策; 岩溶地区

中图分类号: TU473.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)01-0053-04

Common Accident of Pile Foundation Construction in Karst Area and the Countermeasures for Quality Hidden Trouble/LEI Jian, HE Gang, DENG Cai-guang (Shenzhen Ruziniu Construction Engineering Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518001, China)

Abstract: The paper introduced a pile foundation engineering in limestone karst area, 364 cast-in-place piles were completed with the longest pile of 48m and largest pile diameter of 1.7m. Because of the complex formation, hole deflection, water intruding, leakage and collapsing often occurred, and it was difficult to estimate the cave at the bottom of the pile hole and cave-penetrating. The difficulties were overcome by scientific judgment, strict prevention and careful treatment.

Key words: bored cast-in-place pile; accident; countermeasure; karst area

深圳怡龙枫景园桩基工程地处深圳龙岗区灰岩岩溶地区, 采用全孔钢绳冲击钻进成孔, 累计完成灌注桩 364 条, 最大成桩桩长 48 m, 最大桩径 1.7 m。施工中遭遇到前所未有的岩溶地区复杂地层通病, 克服了偏孔、涌水、漏水、坍塌、桩孔底层溶洞判断及灌注中溶洞洞穿给施工带来的艰难险阻, 取得了丰硕的技术成果。因而, 总结和探讨岩溶地区成桩质量隐患和偏孔通病的防治经验, 为类似工程提供借鉴和参考, 是十分必要的。

1 场区地层特点

桩基施工在基坑开挖后进行, 所钻遇的地层主要为砂土层、粘土层、粉质粘土层和基岩。地层特点概括如下:

(1) 场地东区地层较为单一, 数米覆盖层下即为灰岩, 西区地层岩土交替, 换层频繁, 局部换层达 6 层之多, 灰岩地层节理、裂隙异常发育, 岩层产状陡直, 倾角达 60°~70°。

(2) 场区灰岩岩溶发育, 溶洞、溶隙、溶沟呈多层次位无序散布, 隐现无常, 其大小、位置、赋存深度等变化复杂, 无规律可寻, 如 1-18-A 和 1-18-B 两孔相距 3d (其中 d 为桩孔直径), 1-18-A 钻遇

了较大溶洞, 而 1-18-B 却仅见少许溶隙。

(3) 岩溶构造中多有土石充填, 也有的溶洞空旷成室, 深可达数米, 如 2-04 桩施工中钻孔记录溶洞高度为 7 m, 溶洞中石芽错落, 起伏突兀, 岩面在咫尺间变化巨大, 如 2-C12-1 和 2-C12-2 勘探孔同层位岩面标高相差 3.8 m。

(4) 大部分溶洞分布无序、彼此孤立隔绝, 也有部分溶洞呈葫芦状串联, 或竖向累垂, 或水平贯通, 洞内充斥软塑及可塑性砂质粘土, 并赋存大量地下潜水, 成为施工中钻孔涌漏之源, 也给砼灌注带来了极大的潜在风险和难以预料事故。

2 场区工程质量主要事故通病及隐患的治理预防对策

2.1 桩孔纠偏

2.1.1 桩孔偏斜原因

影响场区工程进度的主要“瓶颈”乃是孔孔纠偏, 且屡纠屡偏, 贯穿始终, 导致桩孔偏斜的原因有如下 4 点:

(1) 陡立的岩面是主要的促斜因素。岩石节理发育, 层面倾角达 70°之多, 且岩石可钻性达 7 级, 致密完整, 界面光滑, 锤头在自由降落过程中极易在

收稿日期: 2009-07-02

作者简介: 雷健(1976-), 男(汉族), 陕西澄城人, 深圳孺子牛建设工程有限公司常务副总经理、工程师, 公路工程专业, 从事工程施工与管理工, 广东省深圳市福田区金田路 3037 号金中环大厦 2801 室, lrjianok@vip.sohu.com。

岩石斜面的导斜作用下偏离钻孔设计轴线,趋向岩层强度薄弱的侧面方向冲进,形成顺层跑的偏斜趋势,从而形成偏孔。

(2) 突兀起伏的石芽、石柱可导致偏孔。赋存于溶洞空穴中高低错落的石芽、石柱等,倾角近于 $80^{\circ} \sim 85^{\circ}$,当锤头冲进溶洞与石芽棱面接触时,锤头在石芽斜面反作用径向分力作用下滑向石芽斜面一侧,极易斜向进入溶洞的充填粘土之中,形成偏孔。

(3) 频繁的岩土互层可致偏孔。在软硬不均且层面倾斜的地层中冲孔,锤头在换层部位的孔段时而先软后硬,时而先硬后软以半边锤面率先接触岩土层面,导致钻速差,改变了锤头运行规迹而形成偏孔。

(4) 操作技术欠妥导致偏孔。放绳过多而又收绳过缓引起锤头摆动歪斜,极易和易斜地层形成促斜合力,加剧了偏孔几率和斜度。

2.1.2 偏孔预防措施

(1) 灰岩地层施工,必须按每桩一孔的原则,先施工桩位超前钻孔,取得直观的岩土工程资料。

(2) 熟悉该桩位勘探孔或超前钻地质钻孔柱状图,掌握地层特点,清楚和明了促斜地层孔段的埋深,层顶标高和厚度。掌握溶洞洞室高度,溶洞层数和充填物性质。

(3) 做出每个桩孔不同孔段的防斜方案,向机台交底,让机台熟悉并严格执行。

(4) 进入溶洞后和换层前采用小规程、小工艺参数冲进,锤头冲程控制在 $0.6 \sim 1.0$ m左右。

(5) 机手应全神贯注地注视钢绳放绳幅度,掌握合适的收绳时间,使锤头平稳冲击岩面,控制锤身歪斜,确保作用力竖直向下,防止径向扩径致偏。

(6) 机手应随时观察钢丝绳在冲进过程中的摆动状况,如果钢绳左右弹摆,液面激动,说明孔底软硬不均或岩面不平,已经开始或正在斜向击进,此时应调小冲程,小心冲进。

(7) 采用十字护桩定位法,随时测定孔斜,即于就位开孔前设立两组通过桩孔中心相互垂直的钢筋护桩,桩高 1.0 m,每隔一定时间,可挂直两组连线,测定并计算钢丝绳偏离方位和距离。发现偏位及时纠正。

(8) 在较小溶洞中冲击钻进,容易发生钻头被夹卡或歪斜现象,应于穿过洞顶后,提出钻头,向孔内投入粘土+块石拌合物,块石直径 $20 \sim 30$ cm,填至洞口以上 $1 \sim 2$ m后,再放入钻头,小冲程高频率穿过溶洞,不盲目追求进尺,将粘土和块石挤入孔

壁,实现人工造壁。

(9) 严格保持桩孔上部孔段的钻孔垂直度为零,绝不能按 1% 的规范要求,否则很难达到终孔时满足设计要求。

(10) 经常观察和校正钻机平台水平度,并及时校正,对预防偏孔亦有着重要作用。

2.1.3 纠偏对策

(1) 修焊钻头边齿。工欲善其事,必先利其器。纠偏效果的好坏,取决于锤头边齿的锋利程度,因而纠偏前必先修好锤头,补焊好边齿,边齿采用优质钢材切割成侧梯形齿块,以利于在斜岩面上修造台阶,趋直桩孔。

(2) 即偏即纠。发现偏孔,宜及早纠正,这样可节约块石,缩短修孔时间,可收到事半功倍之效。斜孔段在 1 m内纠正为最好,纠偏时采用小冲程,收绳时宜保持钢丝绳稍紧,以利于修造台阶。

(3) 填块石纠偏。如纠偏难以奏效,则可采用块石回填,块石直径为孔径的 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{2}$,块石强度应略高于岩层强度,如修孔孔段较长,可分几次回填,先投入 $2 \sim 3$ m高度,用锤头冲击使之密实,再进行第二次、第三次投石,直至回填到偏斜孔段以上 1 m位置。

(4) 采用长筒锤纠斜。若上部孔段垂直度控制得较好,下部孔段产生了孔斜,且又屡纠不果,可采用长筒锤纠偏,长筒锤为大直径厚壁无缝钢管制作,筒壁下端唇部加厚加固,六瓣锤头采用 60 mm厚钢板焊制,底焊齿块,长度 $7 \sim 8$ m,外焊 15° 斜形钢筋水槽。此锤锤体较长,具有良好的导直性能,经在本工程 $1-30$ 、 $2-28$ 号桩孔纠偏实施,效果极为理想。

(5) 移位纠偏。对于岩性特别坚硬,岩面光滑、偏差不大、不易修造台阶的桩孔,可有意将桩机位移 $3 \sim 5$ cm,增加始纠处的着力点面积,有利于形成台阶,如 2 号楼 $2-51$ 号桩孔采用移位纠偏,收到了理想的效果。

(6) 灌注混凝土纠偏。在硬岩中施工时,当采用各种方法纠偏效果均难以奏效,尤其是上部孔段失去了纠偏机会,形成了大孔段的S形桩孔时,最好以C45混凝土浇注到偏斜孔段以上 1 m位置,待凝固后再行冲进纠偏。

2.2 嵌岩桩桩底溶洞判定及处理

依据地质勘察报告和设计桩长完成桩孔施工,在变化莫测的岩溶地区,决不能认为大功告成,必须审慎检查成孔孔底有无溶洞,避免由于误诊而使桩基坐于岌岌可危的虚悬之中,留下难以挽回的质量

隐患。

2.2.1 质量隐患揭密及原因剖析

如前所述,岩溶地区溶洞、溶沟、溶槽无序散布,隐显莫测,按一桩一孔的设计布置超前钻,并不能充分揭示桩孔下部全部地质现象,这在2-C9-2桩基施工中得到了证明,该桩原设计桩长37.9 m,孔深39.3 m,地质取心资料显示,孔深39.3~43 m为完整微风化灰岩,按设计终孔已无可非议。但在一次清孔完成后,以探锤触探孔底,发现全无坚硬岩石的反弹触觉,沿桩孔环周连试几次均持疑虑,经报请现场监理及业主单位,决定在桩孔中加补加深探孔,取心后证实,在孔深39.31~42.5 m处取出3.2 m长的溶洞充填物——泥砂。继续钻至42.5~47.5 m为完整基岩,故该桩加深至43 m终孔。再次探测证实孔底反应良好,无溶洞存在,顺利灌注,成功地排除了一起质量隐患。

此外,在5-42-1、5-42-2、5-C30等桩孔终孔后均经探测证实孔底部位有疑似溶洞存在,并果断做出了桩孔加深处理。

2.2.2 解决办法

(1)从设计角度考虑,在灰岩岩溶地区施工必须在桩位中心进行一桩一孔的地质超前岩心钻探,取得桩孔的地质剖面直观资料。

(2)桩孔施工到达入岩孔深时,须准确记录每小时钻进速度,小时效率 <0.15 m时,即可按设计孔深终孔,反之则须报告地勘部门慎重研究裁定,或继续加深0.5 m以作观察。

(3)按设计孔深终孔后,及时进行一次清孔,待孔底泥渣清完后,使用测锤沿桩孔环周按10 cm间距逐点、逐环施探,若发现某点触感明显有别于完整灰岩,则须重点反复触探比较并做出判断,如5-42-2、5-42-1两桩均于终孔后判定孔底疑似溶洞,继续冲进小时钻速达0.50 m,证实判断准确,报请设计部门做出了桩孔加深设计变更,其中5-42-2连续加深7 m,最后3 m孔段连续记录小时效率 <0.15 m时,才判定终孔。清孔后照前述方法探测,证实溶洞已经穿过,确信持力层可靠无疑,才进行灌注成桩。

(4)桩孔内布加深岩心钻孔。若对持力层疑虑的判定难以决断时,则可在桩孔内布置加深岩心钻孔,钻孔布于最有疑点之处,取出岩心后则一目了然,对多处疑点,则可布2~3个钻孔,以勘究竟。如2-09-2桩,初判孔底疑为溶洞,数次加深仍难以穿过,毅然在钻孔内实施超前钻孔,取出岩溶物长达

3 m,从而可及早确定桩长变更方案,减少时间的延误。

2.3 混凝土灌注中溶洞洞穿事故的预防和处理

2.3.1 事故原因剖析

如前所述,岩溶地层溶洞赋存无规律,桩孔在钻穿岩溶的充填粘土后形成的临时孔壁比较单薄,灌注中经不起混凝土的强力冲击斥挤而洞穿。另外,当桩孔与溶洞毗邻,施工时与溶洞相切而过时,破坏了桩孔与溶洞之间的部分隔绝岩墙与充填的塑性泥砂,形成与溶洞似通非通的状态,施工时泥浆液注压力尚不能压垮隔绝墙,但高密度混凝土液柱压力且附加有灌浆砼流冲击时即可冲垮隔墙,引起混凝土瞬时大量流失、钢筋笼掉落和断桩事故,酿成严重的成桩事故。

(1)混凝土流失。溶洞洞穿造成彼此开放,混凝土大量涌入溶洞直至充满溶洞方才罢休,造成直接经济损失。如2-04桩桩长37 m,混凝土超灌达 80 m^3 ,在距其2 m之距所布的补勘钻孔,于钻深46 m处取出长4 m的完整砼柱体,证明确为2-04桩灌注时所流失。

(2)钢筋笼掉落。灌注中当混凝土压力冲破了溶洞洞壁平衡造成混凝土大孔段流失时,砼面瞬时突降,在混凝土与钢筋笼握裹摩擦力作用下,钢筋笼随砼体同步掉落(当钢筋笼为半笼时),造成钢筋笼坠落事故(如2-C5桩)。

(3)断桩事故。灌注中若按照规范要求及时拆卸导管,而混凝土能否流失、何时流失均难以预料,当混凝土洞穿部位位于导管底端下方发生时,砼面瞬间突降,突发间又不可能及时同速补灌,当砼面一旦低于导管底口,泥浆乘虚而入,隔断砼面形成断桩。

2.3.2 防治措施

(1)在溶洞部位灌注时,要控制灌注速度适中,过快则有可能压力过大撑破溶洞薄壁,故应使其匀速连续,徐徐灌注。

(2)掌握溶洞的顶底标高和内部充填状况。参考地勘资料,钻至溶洞顶部时,即注意是否有泥浆渗漏现象,记录泥浆漏失层位及漏失量大小,取出的土样成分和状况,绘出实际参数柱状图,以供灌注时参考。对于漏失层位,最好采用水泥加水玻璃浆液充填堵漏,减免灌注中的混凝土流失根源和几率。

(3)在灌注中,要计算导管底端出口的停留孔深,且忌把导管滞留在溶洞之中,适当延长埋管深度,延缓拆管时间,当砼面上升超过溶洞上顶板时,若无流失现象,此时迅速拆管抓紧灌注直至桩顶。

(4) 钢筋笼掉落时往往拉弯悬挂插杠并连同落入孔内,酿成事故,因而必须采用高强度杆件,如采用一组两根规格为15~20号槽钢或 $\text{Ø}75\text{ mm} \times 6.5\text{ mm}$ 无缝钢管并内穿 $\text{Ø}60\text{ mm}$ 钢管加强的高强度插杠等,其长度应大于孔径1 m,另外,尚须以角钢把钢筋笼和钢护筒连焊在一起,以防钢筋笼掉落。

2.3.3 处理办法

2.3.3.1 钢筋笼脱逃处理

发生钢筋笼掉落事故,应迅即测定钢筋笼脱落后的笼顶深度,若笼顶位于孔口以下3 m之内,可将砼灌至笼顶以上1 m,7日后做开挖接笼处理。若钢筋笼掉落较深,可迅即加工一节直径略小的长度适宜的钢筋笼,从原笼中空下入,并保证上下搭接长度1 m以上,重新固定笼顶后灌注成桩。

2.3.3.2 混凝土流失处理

(1) 混凝土流失量不大,砼面未低于导管底口,可迅即组织调入足量混凝土灌注成桩。

(2) 万一发生巨漏连带的断桩事故,可采用下列处理方法:

精确测定砼面高度,将导管下入所测砼面以下0.5 m,并将漏斗悬高0.5 m,采用加大初灌量的传统做法,按自由落体折减计算排开导管内泥浆的时间,当下行砼流排开管内泥浆和浮浆后迅速下插悬高的0.5 m余量,使导管底口深埋0.5 m,并进入纯砼之中,此时新砼老砼亲和,灌完首斗砼后已基本完成接桩程序,但为了稳妥,可再加长1 m导管,加大埋深1 m,之后按常规操作并保持埋管深度在每次

(上接第52页)

(2) 施工方法简单。施工方法简单,操作容易,当切刀沉入设计深度后,送浆量加大的同时,切刀向上提升,提出槽口,即成段墙,不需置换与专门的浇注。

(3) 可施工最薄的防渗墙。切刀厚度即是防渗墙的厚度,所以非常适于修筑薄防渗墙,最薄可达8 cm。在低水头坝防渗墙和堤坝防渗墙的施工中有广阔的市场。

(4) 施工效率高。振动切喷的成墙效率很高,平均成墙效率在 $500\text{ m}^2/\text{d}$ 左右,最高连续成墙效率可达 $1500\sim 2000\text{ m}^2/\text{d}$ 。

(5) 无污染。振动切喷无需护壁,成墙浆液也始终不出槽口,这种优越性只有振动切槽、振动切喷与振动沉模的成墙方法所具有,其它的施工方法无

拆管后不少于3 m,确保新灌砼始终顶升离析砼并同步上升,终止时须排掉3 m以上浮浆和离析砼浆,以保证接桩的可靠性和成功几率。

(3) 处理后的桩若经检测不能满足设计要求,则需断然重冲处理。

3 结语

(1) 在岩溶地区施工桩基,必须按一桩一孔布置超前岩心钻探,获取直观的岩土勘察资料,以指导施工。

(2) 直径110 mm的超前钻孔资料尚不能代表整个桩孔断面形态,终孔后必经探测判定无溶洞存在时方能终孔,否则加深施钻。

(3) 把纠偏工作做为岩溶地区成孔中重点技术攻关课题,处理原则是:十字护桩定位,逢偏必纠及时,方法因况而异,严控一纠到底。

(4) 按照“标本兼治”的原则,采取积极措施,防止或减免混凝土灌注中因溶洞洞穿导致的成桩事故并稳妥处理,以减少损失。

参考文献:

- [1] 陆祖安,龙立民.岩溶地层大口径钻孔的防斜治斜实践[J].探矿工程,2002,(1):30-31.
- [2] 徐月松.岩溶地区高层建筑桩基的桩型选择与施工[J].探矿工程,2000,(6):17-19.
- [3] 何建文,何文生.岩溶发育区冲击成孔灌注桩事故防治[J].探矿工程,2000,(6):20-22.

法比拟。

(6) 造墙成本低,设备少,投入低。比高压旋喷造墙成本低约30%,比薄壁抓斗造墙成本低约20%。

9 结语

该工艺构思新颖、工序简单,开创了建造地下薄防渗墙的新途径。其有很强的适用性,应大力推广应用。

参考文献:

- [1] 曾鹏九.防渗墙的施工技术最新模式[J].水力发电,2008,(1):60-63.
- [2] 孙灵慧,李云崖,王开兰.切槽成墙技术在堤防工程中的应用[J].西部探矿工程,2001,(2):8-9.