第22卷 第3期
2002年7月

桂林工学院学报
JOURNAL OF GUILIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Vol.22 No.3
Jul. 2002

文章编号:1006-544X(2002)03-0279-05

岩溶地区嵌岩冲孔桩成孔技术

谭景和

(桂林工学院 土木工程系,广西 桂林 541004)

摘 要:对于岩溶地区复杂的地质条件,冲击钻进方法是嵌岩桩最有效的成孔方法,冲击成孔工艺随地层变化较大,冲孔桩成孔的成败决定于成孔工艺的合理性.冲孔桩施工前应对场地的地质条件有详细的了解,并针对岩溶特点做必要的准备工作.冲击成孔过程中采取合适的施工工艺,确保孔壁稳定、桩孔垂直,防止卡钻,在溶洞内钻进时回填块石和粘土块,采取"重锤轻打"方法可达到固壁成孔、防止孔斜的目的.

关键词:岩溶地区;嵌岩桩;溶洞;冲击钻进

中图分类号:P642.25;P634.56;TU473.14 文献标识码:B

目前在岩溶发育地区施工嵌岩桩最为有效的钻进方法是冲击钻孔法,它具有碎岩效率高,对于裂隙发育的坚硬岩石所耗功率小,钻进中不需泥浆循环等优点.但是,因为岩溶地区的地质条件复杂,溶洞、溶沟、溶隙、石芽等十分发育,基岩面埋深不一,起伏较大,无规律性.另外,勘察资料有一定的局限性,对大口径桩横截面范围内的地质情况无法完全摸清,有时出现实际施工揭露的地质情况与勘察资料不符的现象,这就使桩基施工难度增大,稍有不慎就可能出现事故,轻则泥浆严重漏失、孔壁坍塌,重则桩孔大面积坍塌引起地面塌陷,使桩孔无法继续施工.

1 施工前准备工作

大型建筑物单桩承载力较大,要求持力岩层有较好的完整性和较大的抗压能力,对桩身混凝土质量要求严格.而在岩溶地区施工冲孔桩时,经常因为遇到复杂的岩溶地质情况造成漏浆、孔斜、坍孔等事故.因此,岩溶地区施工冲孔桩时除了应该按规范要求严格控制的基础上,还应根据岩溶地区的具体情况做好以下准备工作:

(1)溶洞发育地区应打超前钻,至少每桩一孔,对于桩孔直径大于1 200 mm的应不少于2个钻孔[1],同时施工单位应对整个场地作综合地质评价,了解岩溶规律,确定持力层的埋置深度和岩层面大致走向以及地下水赋存情况.必要时请勘察单位人员介绍场地详细地质情况,做到心中有数,避免盲目施工.

(2)充分分析场地内溶洞的空间分布规律,确定溶洞是否存在一定走向,若存在,则应先完成外侧桩孔施工,减少中间桩孔的施工难度.

(3)在确定桩孔施工顺序时还应先行施工地质条件情况较好的桩孔,它产生塌孔的可能性不大,同时较小漏浆可以慢慢填满孔隙和小溶洞,减少地质条件较差的桩孔施工难度,另外由于地质条件较好的桩孔施工完成后对大溶洞的处理起到一定的支护作用,保证后面地层复杂的桩孔顺利施工.

(4)在桩基工程大面积施工前应事先进行试桩,进一步了解场地地质情况和初选施工方案的可行性,根据试桩结果确定施工机具和施工工艺.

(5)准备充足泥浆和一定量的块(片)石、

收稿日期:2002-03-11;修订日期:2002-04-10

基金项目:桂林工学院青年教师科研扶持项目资助

作者简介:谭景和(1968-),男,广西桂林人,硕士研究生,讲师,探矿工程专业.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粘土包和水泥，以便冲孔过程中出现严重漏浆时及时向桩内补给泥浆，抛填泥包、块石堵漏成孔，或灌注水泥堵漏.

2 施工工艺

冲击钻进成孔灌注桩施工流程包括：平整场地→桩位放线，开挖泥浆池、泥浆槽→埋设护筒→钻机就位、校正孔位→冲击造孔、泥浆循环、清除废浆和泥渣→清孔换浆→终孔验收→下钢筋笼→下导管→水下灌注混凝土→成桩养护.

在冲击成孔过程中，为了确保桩孔顺利完成，应该把握好以下几个环节.

2.1 确保孔壁稳定

孔壁的稳定直接关系到冲击成孔的顺利进行，同时还直接影响水下混凝土的灌注质量，影响冲进速度和工程造价. 埋设好孔口护筒和控制好孔内泥浆性能对孔壁稳定十分关键. 埋设孔口护筒的作用是防止孔口松土坍方、桩孔定位导向、维持泥浆水头高度；始终保持孔内有较高密度和粘度的泥浆以及合理的水头高度，以增加液柱压力，或在捞渣时及时补充浆液，维持平衡钻进，否则容易造成孔壁失稳.

如果施工场地内溶槽、溶沟、溶洞发育，使桩孔间溶洞互相贯通，对桩孔孔壁的稳定性有很大的影响，故在钻孔顺序上，先施工溶洞较小或孤立不连的桩孔，待成桩后堵塞地下水活动通道，再施工溶洞、溶槽走向下端的桩孔，避免泥浆严重流失，引起孔壁不稳.

2.2 选择合理的冲击规程

冲击钻机就位后，冲击钻头应对准护筒中心，偏差不大于±20 mm，开始低锤（小冲程）密击，锤高 0.4 ~0.6 m，并根据土层性质和孔内坍塌情况及时投入块石或粘土块，利用冲击钻头捣碎粘土块，使之与清水充分搅拌成为泥浆，或专门从孔口注入配好的泥浆，依靠浓泥浆护壁，使孔壁挤压密实，直至孔深达护筒下 3 ~4 m 后，才可加快冲击速度和加大冲程. 在向孔内投入护壁材料和纠斜块石之后，采用较小冲击行程，控制在 0.20 ~0.50 m 之间[2]，反复冲砸使孔壁竖直、圆顺，待正常后逐渐加大冲程. 否则，不但达不到预期效果，反而会使钻头歪斜而破坏孔壁稳定. 正常钻进时，冲击行程可控制在 2.50 ~4.00 m，若钻进坚硬基岩时，还可适当加大，但应防止扰动孔壁和夹钻事故. 快要进入溶洞时，冲程控制在 1 m 以内，以防突然打穿溶洞顶板，导致卡钻、掉钻.

2.3 冲击时应随时测定和控制泥浆性能参数

在冲击钻进过程中，泥浆担当两重作用：稳定孔壁，携带钻渣. 其性能的好坏直接关系到桩孔孔壁稳定性和钻进效率. 在钻孔桩施工中，泥皮对孔壁稳定的影响起着重大的作用，一般采取优质泥浆在孔壁上形成一层致密的泥皮，可有效地防止孔内泥浆的渗漏，使孔壁不坍. 泥浆的相对密度大、粘度大，则可浮起钻碴并流出孔外；加大泥浆相对密度可增加孔壁的粘结作用和加大对孔壁的静压力，同时较稠的泥浆通过冲击可加厚孔壁的圆环而增加其抗剪强度. 所以，对稳定性差的地层，适当加大泥浆的相对密度是必要的. 但泥浆的相对密度过大、形成的泥皮过厚则会增加钻头的阻力，影响冲击速度. 因此，应根据地层地质情况以及桩孔大小和深度等情况，具体确定合适的泥浆性能参数，比如在易坍地层中泥浆的相对密度为 1.20 ~1.40，粘度为 30 s 左右，泥皮厚 2 ~3 mm/30 min，并在钻进中随时测定和控制泥浆性能.

在粗粒土层（砂土、碎石土等）、漏失地层及岩层中钻进时，一般要求用膨润土配制性能良好的泥浆来达到护壁和携砂功能. 如遇含细颗粒土较高的粘土层（红粘土、黄土等），亦可采取自然造浆护壁.

2.4 防孔斜

在岩溶地层，由于存在不均匀软硬层或岩面倾斜等复杂性，冲击过程中钻头容易歪斜，导致钻孔偏斜，故在钻进过程中要时刻注意桩孔的垂直性，一般每隔 1 ~2 m 要检查一次成孔的垂直度，如发现偏斜应立即停钻纠斜. 若斜孔发生在硬塑粘土层中，用砂、粘土混合物回填至偏斜处以上 1 ~2 m，低锤冲击慢慢通过倾斜位置；而在基岩内发生偏斜时，可投入 20 ~40 cm 粒径块石，略高于偏斜处 1 m 左右，低锤冲击纠偏，一次纠偏不成功则反复几次，一般均能纠正. 对于变层处和易于发生偏斜的部位，应采用低锤重击，间断冲击的办法穿过，以保持桩孔垂直和孔形良好.

2.5 终孔原则

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

综合分析设计桩端深度和地质勘察资料中岩层面深度以及周边已完成桩孔基岩面起伏情况，并分析上返岩石碎块的风化程度，判断桩端全断面嵌入持力基岩层的深度，继续冲击钻进满足嵌岩设计深度要求即可终孔.

3　常见事故分析与处理

由于岩溶地区特有的复杂地层，用冲击法成桩过程中经常出现一些特殊施工问题，采取常规的施工工艺无法施工，应根据具体情况采取一些特殊方法处理.

3.1　桩孔孔壁坍塌

成孔中或成孔后，孔壁不同程度塌落，严重者还引起地表塌陷. 成孔中排出的泥浆不断出现气泡，有时护筒内的水位突然下降，均为塌孔的兆头.

3.1.1　*坍孔的主要原因*　桩孔孔壁坍塌现象主要是发生在稳定性差的地层，如遇到松散地层或破碎岩层、吸水膨胀土层、软塑—流塑状土层；另外，不恰当的施工规程参数和操作方法也是导致孔壁坍塌的原因.

（1）遇大溶洞和破碎地层时，引起孔内泥浆漏失太快，来不及补充而导致孔壁内外压力不平衡而坍孔.

（2）遇大溶洞时只投粘土而未加片石，或加片石、粘土、水泥后冲砸过快，静置时间太短，泥石壁不能支撑洞内填充物或孔内泥浆.

（3）钻进冲程过大，突然打穿溶洞顶板，加之此时护筒未打入稳定岩层，导致溶洞顶板与护筒底口之间孔壁松动、破碎、坍塌.

（4）清孔时循环浆液太稀或孔内产生负压，导致溶洞内泥石壁坍塌.

（5）岩层表面的溶沟、溶槽与溶洞相互连通，又有地下水形成暗流通过透水性强的砂砾层、卵石层极易造成漏浆，使动水头下降，或者当钻头击穿无填充物或仅有少量填充物的溶洞顶板时，孔内水头急剧下降，孔壁外的液柱压力下降，外部地下水渗透水压过高而产生动压力，引起孔壁坍塌.

3.1.2　*坍孔的预防与处理方法*　（1）对那些容易导致坍孔的细节应严格要求，减少坍孔产生的可能性，比如在松散易坍土层中适当深埋护筒，并接高护筒，保持足够的水头高度；使用优质泥浆，提高泥浆密度和粘度；保证钢筋笼制作质量，防止变形，吊放时对准孔位，吊直扶稳，缓缓下沉，防止碰撞孔壁；成孔后，待灌时间一般不应超过 3 h，并尽可能加快灌注速度，缩短灌注时间.

（2）冲穿溶洞顶板不能太快，采用“重锤轻打”方法，一是保证漏浆不至于太快，能够及时补充泥浆，二是保证桩孔圆顺，冲击钻头能自如地通过溶洞顶板，避免卡钻.

（3）坍孔时及时补充泥浆保持孔内水头高度，同时投入漏浆体积 1.2 ~ 1.5 倍的粘土、片石，小冲程冲孔固壁，防止坍孔扩大.

（4）司钻员对照地质钻探资料，检查孔内水头高度、泥浆稠度和孔外水位变化，及时取渣分析，发现异常及时处理，视漏浆程度反复抛填片石、粘土及水泥混合物，抛填高度一次应达 1 ~ 3 m，直到稳定不漏为止，当漏浆太快时，要求迅速集中抛填粘土、成袋水泥和片石[3].

（5）坍孔后，在钢筋笼未下入孔内情况下，将片石、砂、粘土混合物回填到坍塌孔深以上 1 ~ 2 m，或全孔回填并冲击夯实后，再用原径钻头和优质泥浆冲击成孔[4]；若钢筋笼已下入孔内，只是引起轻微坍塌的情况下，用直径小于钢筋笼内径的钻头以优质泥浆扫孔或用导管清孔即可.

3.2　卡钻

3.2.1　*卡钻原因*　（1）由于溶沟、溶槽岩面倾斜，顶板厚度不均，加上遇到孤石等，钻孔时容易出现偏孔，需要频繁纠偏，以致贯穿钻孔全过程，纠偏过程最容易出现卡钻.

（2）由于岩面倾斜，溶沟、溶槽挤钻，溶洞侧壁侵入孔径，加以钻头转向装置不灵活而卡钻.

（3）冲穿溶洞顶板过程太快，或钻头转向不灵活致使钻孔不圆顺，形成梅花孔，造成提钻受阻卡钻.

（4）其它：缩径、坍孔埋钻、钢护筒底卷边等造成卡钻.

3.2.2　*卡钻的预防与处理方法*　（1）经常检查钻具、钢丝绳及钻头的磨损程度，消除事故隐患.

（2）控制偏孔：钻孔时每钻进 1 ~ 2 m 即应自检一次，如发现偏孔便提出钻头，抛入片石 1 ~ 2 m 厚，以小冲程冲击可以纠正，如遇反复抛填仍

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

难纠偏时，需清孔后灌注 1 ~1. 5 m 厚 C25 级水下混凝土（掺早强剂），待强度达到 70％时再重新造孔通过偏孔位置.

（3）在溶洞内冲击钻进时，一是保持钢丝绳稳定、摆动量小，二是注意溶洞高度与冲程关系，一般溶洞较高时（如 2 m 以上）可采用比溶洞高度小的冲程冲击.

（4）溶沟、溶槽岩面不规则，倾斜角度较大，且已下护筒时，易发生护筒底部卡钻现象，应回填高出护筒底 0. 5 m 的小块石后，采用“重锤轻打”法钻进，并适当减缓钻进速度.

（5）卡钻后若钻头可以上下活动，利用钻机上下提动钻头，并用撬棍拨动大绳使钻头旋转，反复多次，一般可提出钻头.

（6）十字孔、探头石、落石等物卡钻，或钻头卡在溶洞内，上下提动无效时，用“一”字形或半月形钻头沿孔壁障碍物处冲击，将障碍物击破或挤走，提出钻头.

3. 3 溶洞的处理

遇到溶洞时处理不当，容易造成坍孔、塌方事故，延误工期. 由于不同场地其遇到的溶洞大小、发育状况及充填情况不相同，其处理办法不相同，应根据具体情况而定.

由勘察资料确定在钻进至溶洞顶板以上约 0. 5 m 处，改用“重锤轻打”方法钻进，避免冲穿溶洞顶板时常出现的掉锤、卡锤以及桩孔不圆等现象. 对于层厚 1. 0 m 以内的小溶洞，若溶洞内充填物为硬塑—软塑状粘土，且小溶洞与其它小溶洞不连通，则可抛入石块，使小溶洞底部填平，然后“重锤轻打”钻进. 若充填物为流塑状粘土或砂类土，小溶洞又相互有裂隙连通，则应回填粘土（块径 10 ~15 cm，孔深时采用泥包）加小石块（1∶1），用钻头夯实后，再以“重锤轻打”方法钻进，使块石冲碎后填塞溶洞孔隙，达到堵漏目的，同时应向孔内补充泥浆，避免泥浆面下降而塌孔，直至穿越溶洞.

冲击成孔遇大溶洞时，对于层厚 1. 0 ~2. 0 m 的较大溶洞，充填物呈硬塑—软塑状，破孔采用“重锤轻打”方法[5]，破孔后适当加大泥浆比重，放慢钻进速度，钻进过程中随时注意泥浆护壁效果，一般均能成孔. 但对于层厚 1. 0 ~2. 0 m 的较大溶洞（洞内充填物为软塑—流塑状粘土、或砂土、或夹有碎石块粘土等），或层厚 2. 0 m 以上大溶洞，或串珠状溶洞群，若按常规钻进方法施工，很容易出现由于溶洞内流塑状土层孔壁失稳而坍塌，或由于孔内泥浆严重的漏失，桩孔内泥浆面迅速降低，因泥浆来不及补给而造成塌孔. 因此对于存在此类大溶洞的桩孔应特别注意，采取一些特殊的施工工艺使成孔顺利完成. 以下是一些较成功的处理措施:

（1）下好孔口护筒. 根据覆盖土层的性质决定选择护筒的类型及下法，当覆盖土层为可塑—硬塑状的粘性土或粉土、或夹粘性土含量较多的密实碎石土层，即使成孔时受泥浆长期浸泡孔壁也能自稳，此时只需在孔口埋置（或沉入）深 1 m 左右的护筒，起到固定桩位、导向钻头和隔离地表水作用. 若覆盖土层中有厚度大的松散层、软塑—流塑层，在该层中成孔时土层满足不了自稳条件，需要下入长护筒隔离此不稳定土层以维持孔壁的稳定，实际操作中常直接将护筒下沉到基岩面，此时的护筒除了起到上面提到的作用外，还起到提高孔内水柱高度、防止钻穿溶洞后失浆严重造成孔内液面大幅下降而出现坍孔、地面塌陷的作用. 在桩位遇有串珠状溶洞群时，应对钻探资料作详细分析，若串珠状溶洞群中，有不易成孔的大溶洞，最好采用大套筒套小套筒跟进的方法钻进，有时还需下多层护筒（或套筒）. 因此，在考虑第一层护筒直径时，应为以后下入的护筒层数和大小留有余地，以保证后面护筒（或套筒）能下入并不影响桩身直径.

（2）详细分析场地的勘察资料，充分了解溶洞情况，对不同的溶洞类型采取适当的成孔钻进工艺. 对于不能自然冲击成孔的溶洞段，一般有 3 种辅助成孔方法，即溶洞内抛填石块粘土等填料成孔方法、或回灌混凝土成孔方法和护筒（或套筒）跟进成孔方法.

溶洞内抛填石块粘土等填料成孔方法就是在冲孔冲穿大溶洞顶板后，向孔内（即向溶洞内）抛填石块（或碎砖石，其强度宜与岩层硬度相当）、粘土块，有时也加少量水泥包，然后小冲程重锤密击，使抛入物在桩孔周围充分夯实，并形成较稳定的孔壁. 这种成孔方法可能一次难以成功，需要多次投料、冲击才能成孔. 若加了水泥混合料，小冲程冲砸后静置 1 ~2 d，重钻成孔.

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

回灌混凝土成孔方法就是在冲孔冲穿大溶洞顶板后，向孔内抛入块石，然后用低标号混凝土灌满，待砼有一定强度后再行冲孔．这种方法主要适用于空间较大的溶洞，且溶洞内充填物呈软塑—流塑状，孔壁不能自稳，或桩与桩间互相连通的特大溶洞，最后灌注混凝土时容易出现严重的超灌．

护筒跟进成孔方法就是冲击破碎溶洞顶板后，接高护筒，将护筒打至溶洞底板岩面，然后继续钻进．护筒跟进前应检查成孔孔径，确认可以跟进后再施工．如护筒无法跟进，则需要采用套筒跟进方法．

4　结　论

（1）桩基施工前必须打超前钻，详细了解桩位的地质条件和岩溶空间分布规律．

（2）埋设好孔口护筒和控制好泥浆性能是确保孔壁稳定的关键．

（3）在倾斜岩面和溶洞地段冲击钻进时，可采用“重锤轻打”方法防止孔斜，而出现孔斜后可采取回填块石和粘土块或回灌混凝土，然后重新造孔的方法纠偏．

（4）钻孔中遇到溶沟、孤石和鹰嘴石，或在溶洞内钻进时，很容易发生卡钻现象，故钻进中应适当减缓冲击进尺速度，减少提锤高度，确保桩孔竖直、圆顺．

参考文献：

[1] 黄斌伟．石灰岩地区冲孔灌注桩的施工处理措施[J]．西部探矿工程，2000，（3）：24．

[2] 徐月松．昆明某大楼大直径嵌岩钻孔灌注桩施工技术[J]．探矿工程，1999，（4）：26．

[3] 张金柱，杨　荣，宋忠平，等．岩溶地层冲击钻孔灌注桩施工[J]．铁道建筑，1999，（10）：22～23．

[4] 周震南．钻孔灌注桩常见病害的成因及防治[J]．西部探矿工程，1994，（3）：28～29．

[5] 徐伟建．浅海岩溶发育区钻孔桩的钻进成孔方法[J]．铁道建筑，1996，（4）：22～25．

The bore technology of embedded rock percussion piles in karst area

TAN Jing-he

（*Department of Civil Engineering*，*Guilin Institute of Technology*，*Guilin* 541004，*China*）

Abstract：For the complicated geographical conditions in karst area，percussive drilling method is the most effective drilling method to embedded rock piles．It is necessary to survey the geographical conditions and make full preparations before the construction of percussion piles．In drilling，appropriate construction technology is chosen to ensure bore-wall stabilization and prevent aiguilles blocking．The method of backfilling rock and clay pieces inside karst cave and ” heavy aiguilles and strike lightly ” can stabilize bore-wall and prevent bore bias．

Key words：karst area；embedded rock piles；karst cave；percussive drilling

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net