

# 武广高速铁路岩溶地区钻孔灌注桩施工技术

常晓义

(中铁十六局集团路桥工程有限公司, 北京 100500)

**摘要:**在武广高速铁路桥梁钻孔灌注桩施工过程中,针对岩溶地质特性,通过对不同类型岩溶处理方案进行对比分析,确定了相应施工方案及施工工艺。工程实践研究结果表明:采用相关施工工艺既保证超前处理、成孔、灌注混凝土等施工作业环节的时效性、连续性,又满足桩基质量验收标准,满足工后沉降的技术要求,为岩溶地区桩基础施工提供了借鉴。

**关键词:**岩溶;超前注浆;冲击成孔;灌注桩;超声波;地质雷达扫描;零沉降

**中图分类号:** TU473.1<sup>+</sup>4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-7029(2010)02-0070-04

## Construction technology bored pile in karst region of Wuhan - Guangzhou high - speed railway

CHANG Xiao-yi

(Road & Bridge Corporation of the 16th China Railway Construction Bureau Group, Beijing 100500, China)

**Abstract:** In the construction process of bored pile for bridge in Wuguang high speed railway, the different solutions for karst topography were compared and analyzed. Based on the comparing results, corresponding construction schemes and technologies were determined. Engineering practice results show that the corresponding technology satisfies the requirement of settlement after construction. Furthermore, the research results provide reference for pile construction in karst topography.

**Key words:** karst; advanced grouting; impact poreforming; compressed pile; ultrasonic; ground penetrating radar scan; zero sedimentation

武广客运专线北起武汉站,南至广州南站,全长 1068.6 km,位于湖北、湖南和广东 3 省境内。桥梁设计比例超过 40%,桥梁工程梁跨形式多,结构复杂,各种梁跨交错布置,桩基多为 1.0 m 和 1.5 m 混凝土灌注柱,桩基嵌入弱风化层(W2 层,500~600 kPa 持力层)厚度不小于 6.0 m。

## 1 岩溶地质概况

### 1.1 沿线地质构造

沿线多属剥蚀地貌,第四系残坡积土层主要由黏土、粉质黏土组成。株洲湘江以北段以及友谊水库一带、白石铺、茶园一带为基岩元古界板岩及泥

盆系砂页岩、灰岩;其余地段均为下第三系始新统霞流市组、白垩系上统、侏罗系高家田组泥岩、泥质粉砂岩和砂岩等,部分地段红层分布有砾岩、砾灰岩,岩溶发育。据地表调查及钻探、物探成果,沿线岩溶大多为中等~弱发育,个别地段岩溶极其发育,岩溶溶洞呈串珠状且发育极不均匀。岩溶问题恶化了工程地质条件,对客运专线施工影响较大。

湖南省岩溶地段主要集中于大屋垅、友谊水库、白石铺等地段,主要为泥盆系灰岩。湘潭盆地和株洲盆地之间为白马垅—梅林桥断褶带,株洲盆地主要由白垩系紫红色地层组成,多以角度不整合于其下伏地层之上。

### 1.2 岩溶地质特点

裂隙和溶洞异常发育,空间分布不规则,溶洞

收稿日期:2010-01-18

作者简介:常晓义(1972-),男,内蒙古牙克石人,工程师,从事桥梁施工作业

赋存自地表下 24.8~55.0 m 之间,溶度高度从 0.5 m 到 25 m 不等,有条带状和串珠状的多层溶洞,溶洞边界不规则。由于溶洞正处于桩基持力层或穿越层内,因此,成孔难度大、成桩质量不易保证。基岩面倾角大,岩面高低起伏,变化大,存在半边岩层,半边土层或溶洞的现象,由于岩面陡斜,形成桩基施工过程中钻孔或冲孔时钻头或冲锤会顺着岩层面偏移,造成偏孔或坍孔。

溶洞内填充物多为水、淤泥、砾质亚粘土,多数为半填充或无填充,溶洞漏水漏浆,在钻探过程中出现过坍孔现象。

## 2 桩基成孔

### 2.1 施工方案的选择

对于直径为 1.5 m 的桩基,计划采用人工挖空桩的施工方法进行施工,以便能够准确描述溶洞状态,采取针对性处理措施,确保成桩质量。但对于溶洞范围较大、厚度较深的桩基,没有可靠的措施进行穿越,流沙、淤泥、水等的涌出不但能造成坍孔,而且极易造成人身伤亡事故,为此,挖孔的方案被否定。

经过论证采取钻孔的方案同样存在以下弊端:

(1)容易造成卡钻及破坏钻杆等情况。由于嵌岩深度的要求在 W2 弱风化层不少于 6 m,同时其下 4 m 范围内不能有溶洞,为此,必须要求机械设备有很强的破岩能力,但是,在岩石溶洞的顶板相当坚硬,钻机的震动往往容易造成偏孔和卡钻的现象。

(2)钻孔作业不能对直径在 0.5 m 以下的溶洞、桩基侧位的溶洞形成堵塞和压实的效果,在钻进过程中,容易突发泥浆大量流失及混凝土灌注过程中大量扩散等情况。

(3)钻杆拆除等施工流程缓慢,提钻不及时,容易导致坍孔埋钻,造成无法提钻、无法钻进等情况。

因此,在岩溶地区应首先考虑采用冲击成孔的施工工艺,优点是冲击力强,穿透能力强,提钻速度快,在发生漏浆或者坍孔等情况时,可以快速提钻,避免埋锤事故。虽然对于砾石层、岩面倾斜等情况处理起来有一定的困难,但是,采取了必要的措施后,可以有效地保证施工顺利进行。

同时,在资源具备、溶洞资料翔实的情况下,可以考虑冲、钻结合成孔的方案。在覆盖层采用旋转钻机成孔,在岩层采用冲击钻机成孔,形成互补。冲击成孔辅以钢护筒全程跟进,也可以有效地保证

成孔效果。

### 2.2 施工准备

#### 2.2.1 成孔顺序

采取隔孔施工。钻孔混凝土灌注桩是先成孔,然后,在孔内成桩,周围土移向桩身土体对桩产生动压力。尤其是在成桩初始,桩身混凝土的强度很低,且混凝土灌注桩的成孔是依靠泥浆来平衡的,故采取隔孔施工一方面对防止坍孔和缩径起到控制;另一方面,针对溶洞之间可能形成的联通,避免混凝土灌注时出现“窜孔”现象,保证水下混凝土施工的连续性,确保成桩质量。

#### 2.2.2 作业平台处理

钻机就位前,应根据工作需要,对钻机底座或机座进行加固,可以保证成孔垂直精度满足设计要求,避免坍孔时钻机下沉和倾斜。同时在钻进工作中,经常校核钻架及钻杆的垂直度等。常用的加固措施有横纵向铺设长度大于 10 m 的钢箱梁(型钢加工制作),下部基础压实整平,钻机安装在钢梁上。

#### 2.2.3 钢护筒

综合成本因素,对部分桩基施工只埋设 2~4 m 的钢护筒,对于溶洞体积较大的考虑全程钢护筒跟进。

#### 2.2.4 确保桩位和泥浆比重

在护筒定位后及时复核护筒的位置,严格控制群桩中心在承台底面处的偏差不得大于 5 cm,且密切注意和随时调节泥浆密度。在砂黏土地层钻进,泥浆比重在 1.05~1.15 之间较好,既能获得较高的钻进速度,又能做到不塌孔;在易塌地层中钻进时,泥浆比重可提高到 1.2 左右,要适当降低成孔速度,成孔过快易坍孔,必要时添加外加剂如 CMC、纯碱、水泥等,以确保孔壁稳定。

#### 2.2.5 材料准备

施工前应做好各种材料的准备工作,在现场准备足够的片石、黏土、水泥,同时根据溶洞的大小现场配置备用泥浆池(体积一般在 200~500 m<sup>3</sup>,根据需要甚至更大),配备 2~4 台 D220 型泥浆泵备用,保证一旦桩孔漏浆,可以马上进行补浆。

## 3 岩溶区施工方案及工艺

### 3.1 一般溶洞处理

对于直径小于 2.5 m 的普通溶洞,一般采用冲击成孔并全程钢护筒跟进的方案进行,在施工过程中,对溶洞的处理应考虑以下问题:

(1)超前钻。对于半填充或无填充物的溶洞,

可以采用小钻头进行超前钻,钻穿溶洞,直至桩底标高,补充优质的泥浆及黏土、水泥和锯末等搅拌成的混合物,填满溶洞,观察24 h后,如果情况正常,开始钻孔或冲孔施工。由于超前钻能够避免一次成孔的风险,而且可以对溶洞的发育状况及体积在施工前有更准确的描述,建议在溶洞发育区采用此措施。

(2)在冲孔至溶洞顶标高附近,加大泥浆比重,选用小冲程进尺,逐步将顶板击穿,防止卡钻。密切观察孔内泥浆的变化,发现漏浆马上提锤、不泥浆、抛填片石、袋装混合料(密度为 $1.1 \sim 1.15$ ),等泥浆面不再下降并稳定后,采用小锤进行冲击,挤压形成的泥石孔壁成孔。若孔桩仍继续漏浆,则继续抛片石、袋装黏土、袋装混合料(比重为 $1.10 \sim 1.12$ ),采用小锤轻打,慢慢将片石、袋装黏土、水泥挤压到溶洞内,堵塞溶洞通道。如此反复操作,直到不漏浆为止。采用小冲程固壁成孔,顺利通过溶洞。

(3)在溶洞被冲穿后,不论是否漏浆,可不考虑溶洞的填充形式及种类,均采用抛填片石(可适当加部分直径为 $3 \sim 5$  cm的碎石)、袋装黏土(密度为 $1.1$ ),超过溶洞顶标高 $3 \sim 5$  m,然后,小冲程冲击填塞,不取碴,使其挤入溶洞及空隙内。经过多次反复后,溶洞被堵塞,孔壁四周被加固,会减少混凝土灌注时的流失量。这种方案替代传统的采用低标号的混凝土进行填充及灌注的方法,将会大大降低费用和成本。

(4)在冲击顶板及岩面倾斜部位时,因软硬不一致,甚至出现岩面错位、半边岩的情况时,容易发生孔位倾斜等情况,应注意观察冲孔的进尺及钢丝绳位置的变化、碴样的变化及锤头的磨损情况,一旦发现有此类情况发生便立即停止冲击,采取抛填片石、黏土、袋装混合料或低标号混凝土的措施,进行纠偏。换用锤牙好的桩锤进行冲击,要低打紧击,慢慢纠正陡斜岩面,直到整个冲击步入到均匀的岩石部位,才能结束纠正措施。这往往需要反复多次。

(5)在冲破溶洞后,严禁打松锤,应绷紧钢丝绳,采用小冲程低打紧击,一旦发现漏浆或异常情况,马上提锤到孔口,采取相应的处理措施。因为在溶洞内,一旦松锤,锤体比较重,可能会滑落到溶洞内,在再次提锤的过程中就会被岩石卡住、埋锤。

(6)当岩溶桥中由于岩溶发育及其不规则性出现桩基长短不一,或桩长相差较为悬殊的墩台的情况时,应遵循先施工长桩后施工短桩的顺序。若先施工短桩,再施工长桩,则因为地质条件各种原因发生变化,需增加桩长,群桩受力发生变化,短桩

受力增加,但短桩已成型,因而必需增加桩数。

### 3.2 特殊溶洞处理

对于溶洞直径大于 $2.5$  m,甚至到 $25$  m的特殊溶洞,仅仅采用冲击成孔、钢护筒跟进的方案就无法成孔,出现卡钻、掉锤和坍孔的现象屡屡发生,造成工期及经济上的极大浪费,为此,考虑在冲击成孔前,在地表钻孔进行岩溶注浆,提前对溶洞进行处理,对没有填充物的溶洞进行填充加固。对有填充物的排除溶洞内的积存物,释放溶洞内压力,注入化学浆液与填充物混合,形成相对稳定的结构层,注浆材料一般选择纯水泥浆、砂浆、水泥和水玻璃混合液(如硅酸钠)或低标号混凝土。溶洞在施工注浆前、后均采用综合物探与注水相结合的方法对岩溶地基处理工程的效果进行检测。当注浆效果稳定后,按照灌注桩的成孔工艺进行钻孔或冲孔。在冲钻过程中,随时跟踪观察溶洞处理的效果,对剩余的局部小溶洞采取常规处理方案即可。

(1)对岩溶地段地址进行详细地址勘察,形成地址素描图,进行完善的桩基础设计(见某桥桩基础展示图样例)。

(2)注浆施工准备工作与调查工作同步进行。首先,根据岩溶桥梁的桩位放样,定出钻孔范围,布设施工场地及临设。钻孔先行,注浆随后。边探边钻,边注边察,及时发现异常,及时调整工艺。同时做好周边环境的监测工作,避免污染和控制浆液超出加固范围。在岩溶发育地段,采用分段注浆法,调整压力,加大注浆量。遇较大溶洞时,采用灌注砂浆或细石混凝土、加注浓浆等方式封堵。

(3)钻孔施工工艺流程为:布孔—安装钻机—开孔—下套管—基岩钻进—终孔。钻孔间距一般 $3 \sim 5$  m,呈梅花形布孔,钻孔一般采用 $110$  mm岩芯管,选择 $108$  mm套管,钻至基岩面下 $6$  m终孔,如遇溶洞,再钻至溶洞底板以下 $1.0$  m,按要求做注水试验,当自检合格后,请监理工程师验孔,拧上孔口盖。

(4)注浆施工。注浆施工按照《注浆技术规范》(YBJ 44—92)有关规定与设计要求进行,注浆设备主要为HJ800型搅拌机、Gzjb型液压双液注浆泵。设搅拌站在工地就近选取用地,尽量选取在少占地、地势高、平坦、环境影响小、运输方便的位置设置搅拌站。按设计要求,备足PO32.5号普通硅酸盐水泥, $38 \sim 43$  Be'模数为 $2.4 \sim 3.0$ 的水玻璃以及注浆管材等。

注浆前根据设计图及注浆孔岩溶发育程度,做好浆液配比用料。检查搅拌机、注浆泵等设备运转情况;压浆孔孔口盖换上混合器(法兰盘),对管路进行试压、检查管路、接头的连接、密封质量。

选取代表性孔进行注水试验,确定单位长度吸

水量。

(5)注浆控制:压浆应遵循先边排,后内排跳孔注浆顺序;先稀后浓,依吸浆情况逐步加浓浆液,水灰比控制在 1.1~0.8;灰岩中压浆压力应为 0.1~0.3 MPa,岩土界附近逐步加大至 0.3~0.5 MPa。

当单孔连续注浆量超过设计单孔注浆量的 2 倍仍不见升压或吸浆量下降时,采用提高浆液浓度或双液压浆措施。双液压浆时采用水泥浆与水玻璃之体积比为 1:0.08。

如遇岩溶通道、较大溶洞和裂隙处视情况先灌注浆机制砂或稀的水泥砂浆(灰砂质量比为 1:3~1.6)对溶腔进行充填,再采用粉煤灰水泥浆液或双液注浆。稀的水泥砂浆水灰比与注浆水灰比保持一致(0.8:1~1:1),灰砂质量比采用 1:3~1.6。

(6)注浆结束。达到以下条件时可结束注浆:注浆口口压力维持在 0.2 MPa 左右,吸浆量不大于 40 L/min,维持 30 min。

冒浆点超过注浆范围为 3~5 m。

单孔进浆量达到平均设计压浆量的 1.5~2.0 倍,且进浆量明显减少。

特殊条件控制标准:当注浆压力不大或注浆量降低,基底出现异常上鼓时,应终止注浆,同时采用附近注浆孔“补偿”等措施。

(7)岩溶注浆后续施工。压浆前、完工后可遵循《铁路工程物理勘探规程》(TB 10013—2004)采用瞬态面波和四极电测深 2 种方法为主进行探测。评定注浆效果后对桩基采用正常工艺施工。

3.3 终孔的确定

要保证岩溶地段的桩基质量,除了依靠必要的技术检测外,在施工中,需要结合地质勘查资料,准确判定嵌岩深度。一般地,主要从以下几个方面考虑:(1)根据岩样表面是否新鲜,是否有溶蚀面等条件判断;(2)有无泥浆渗漏出现,判断溶洞存在与否,终孔前泥浆是否稳定;(3)根据地质勘查资料与实际地层对照,有差别时以实际为准,必要时进行补充地质钻探;(4)根据岩溶注浆效果,判定终孔的条件及深度。

## 4 结 语

(1)武广铁路客运专线岩溶地段桥梁混凝土灌注桩施工经验是通过多座岩溶桥梁的工程实践摸索形成的,在对待大小不同、分部特点不同、填充方式不同的溶洞,分别采取了钻、冲结合成孔的方案、钢护筒跟进的成孔方案、地表注浆处理后冲钻成孔的方案。同时,在冲钻成孔过程中采用超前钻的技术进行溶洞处理,采取了跟踪定位、及时封闭

的办法进行调整纠偏,提高了作业效率,大大缩短了工期,并且在传统的工艺上进行了改进,对投资和成本的控制起了关键作用。

(2)以 XXTJ 标段个别桥梁为例,在施工初期 2006~2007 年底 2 年内共完成桩基 4 根,该桥梁施工成为整条线路的重难点,施工陷入僵局,为桥梁的架设施工及无碴轨道的铺设和总体工期目标造成了很大困难和压力。为此,我项目部集中技术力量,结合外部指导,投入适当的前期资源,开展了技术攻关,在 2008 年上半年,克服了种种困难,顺利完成了桩基及下步结构的施工,使得后续项目施工顺利进行。该桥后续成孔率为 100%,经检测桩基合格率为 100%,全部为Ⅰ类桩,经后期沉降观测,桩基沉降复核设计及验标,均达到要求。

(3)地质资料一定要翔实准确。在岩溶地区施工,获得一份可靠、真实、详细的地质勘查报告是至关重要的。

## 参考文献:

- [1] 覃庆忠. 复合桩基在岩溶地区桥梁桩基施工中的应用[J]. 山西建筑, 2009, 35(15): 9-12.  
Q N Qing-zhong On application of composite pile foundation in bridge pile foundation construction in karst areas[J]. Shanxi Architecture, 2009, 35(15): 9-12.
- [2] 龚成中,何春林. 岩溶地区桩基施工常见问题分析[J]. 山西建筑, 2007, 33(12): 37-39.  
GONG Cheng-zhong, HE Chun-lin Analysis of common problems in pile foundation construction in karst area[J]. Shanxi Architecture, 2007, 33(12): 37-39.
- [3] 黄亮雄. 岩溶地区复合桩基研究与应用[J]. 中南大学学报, 2003, 48(9): 39-42.  
HUANG Liang-xiong Study and Application of composite pile in karst region[J]. Journal of Central South University, 2003, 48(9): 39-42.
- [4] 谢义宝. 岩溶地基桥梁桩基施工技术探讨[J]. 中国高新技术企业, 2009, 15(13): 22-24.  
XIE Yi-bao Construction of pile foundation in karst subgrade[J]. China High Technology Enterprises Issue, 2009, 15(13): 22-24.
- [5] 李海梁. 注浆在岩溶地基处理施工中的应用[J]. 湖南交通科技, 2005, 36(1): 5-7.  
LI Hai-liang Application of the injection in construction of karst foundation treatment[J]. Hunan Communication Science and Technology, 2005, 36(1): 5-7.
- [6] 杨宜章,杨奕军. 岩溶地区桩基施工中的溶洞地基处理[J]. 岩土工程界, 2002, 5(4): 41-43.  
YANG Yi-zhang, YANG Yi-jun Foundation treatment of karst cave of piling construction in karst area[J]. Geotechnical Engineering World, 2002, 5(4): 41-43.