

# 浅谈沿海复杂地质条件下岩溶区桩基施工技术

李正全, 冉鹏, 石智鑫

(中国水利水电第七工程局有限公司 第一分局, 四川 彭山 620860)

摘要:通过深茂铁路岩溶桩基施工实践,针对不同的岩溶种类总结出不同的处理方案及施工技术,可为今后类似工程建设提供参考。

关键词:岩溶;桩基;注浆;钢护筒;回填;深茂铁路

中图分类号:TV553;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)02-0010-03

## 1 工程概述

深茂铁路那龙河1号特大桥全长1 532.48 m。桥梁的下部为钻孔桩基础,桩径分别为1 m、1.25 m,桩基深度为9~66 m。该桥位于灰岩区,岩溶发育强度属于强发育,溶洞大小不一,埋深较大,分为充填、半充填和未充填溶洞,部分呈串珠状发育。岩土为松散状种植土、素填土及软塑性粉质黏土,结构松软,压缩性高、强度低,工程特性较差,易产生不均匀沉降。

## 2 岩溶的分类与处理

### 2.1 溶洞分类

(1)按溶洞的大小分:①大溶洞:溶洞高度>3 m;②小溶洞:溶洞高度<3 m。

(2)按溶洞填充状态分:①全填充溶洞:洞内完全充填砂石、砾岩、土等。充填物呈软~硬状、流塑状;②半填充溶洞:洞内约有二分之一为填充物,顶部为空腔;③无填充溶洞。

(3)按溶洞垂向个数分:①单个溶洞:桩基范围内仅有一层溶洞;②多层溶洞:桩基范围内有多层溶洞。

(4)按是否漏水分:①全漏水溶洞:溶洞与其它溶洞或地下河连通;②半漏水溶洞:溶洞洞壁存在裂隙,有渗漏水现象;③不漏水溶洞:溶洞完整,无渗漏水现象。

### 2.2 溶洞处理方案

根据溶洞大小及填充情况等,选定经济可行的处理方案,选定原则见表1。

(1)回填法施工:回填法施工主要适用于溶洞高3 m以下、充填或半充填的溶洞,或高度1.5

m以下无充填的溶洞,采用抛填片石、黄泥挤压填充复钻处理。

表1 溶洞处理方案选定表

溶洞高度	填充情况	处理方案
3 m以下	填充或半填充	填粘土和片石
	全填充	填粘土和片石
3~6 m	半填充或无填充	水泥、石灰、粘土、片石、低标号混凝土、压浆
6~10 m	半填充或完全填充	压双液浆
	空洞	填片石粘土
10 m以上	全填充	填粘土和片石
	半填充或无填充	钢护筒跟进

(2)注浆法施工:主要用于高度3 m以上的溶洞处理,属于复合地基化学加固处理法之一。注浆主要针对地表进行,同时兼顾对岩溶进行填充,在土体中形成纵横交错的网状浆脉或浆体,使注浆段岩土体的孔隙或孔洞被浆液充填或挤密,泥浆液流与土体混合成新的固体,起到增强表层土体的物理力学性质、提高地基土的承载力及岩体完整性的作用。

(3)钢护筒跟进法施工:对串珠状溶洞、空洞或其洞内填充物为软塑或卵石土且溶洞不大(溶洞深度为2~4 m)时,可采用单护筒跟进成孔;对溶洞深度超过4 m、洞内填充物为流塑或空洞状的情况最好采用内外双护筒跟进成孔。

## 3 施工准备

(1)详细掌握溶洞出现的位置,推断其范围大小。对于地质资料不详的桩基,待桩孔达到设计标高后,应探明桩底以下不小于3倍桩径深度范围内的岩层情况,确认没有溶洞后方可终孔。

(2)对于位于岩溶地区的扩大基础,当开挖

收稿日期:2017-02-06

至基底标高后,需在基础范围内的四角及中心深约5 m范围内探明基础以下是否有溶洞存在,如有溶洞,应修改设计。

(3)对有溶洞的桩位的工程地质、水文地质资料进行分析,根据岩溶高度、地质情况和施工难点确定钻机类型,制定施工方案和技术保障措施。

(4)做好现场施工的筹备工作,合理布设泥浆池与沉淀池,钻孔平台应搭设牢固,机械设备性能保证完好,备足成孔用泥浆、粘土、片石等必备材料,确保连续作业。

#### 4 岩溶区的桩基施工

(1)泥浆制备。施工时应加强泥浆护壁,选用优质材料以加强泥浆的护壁效果。

(2)钻进。

①采用小冲程的冲击钻开钻,初成孔应能起导向作用,且孔口竖直、圆顺、坚实、不坍塌。当钻进深度超过钻头全高加正常冲程后,方可进行正常的冲击钻孔。

②冲孔至距溶洞顶板1 m左右时,加大泥浆比重,选用小冲程进尺,逐渐将顶板击穿,防止卡钻;同时,在击穿顶板之前补泥浆、抛填片石、粘土混合料,若桩孔继续漏浆,则改抛片石、袋装粘土、袋装水泥混合料,采用小冲程冲锤轻打,慢慢将片石、袋装粘土、水泥挤压到溶洞中堵塞溶洞通道,如此反复操作,直到不再漏浆为止,遂转入小冲程冲孔,顺利穿越溶洞。

③冲锤击穿溶洞顶板后向孔内投入片石、袋装粘土,填至超过溶洞顶面1.8~2.5 m位置,然后用小冲程冲锤冲击投下的混合物,使其挤入裂隙、溶洞内,多次堵塞溶洞通道固壁。

④岩溶水一般呈酸性,在成孔过程中,岩溶水一旦进入泥浆,因泥浆呈酸性而导致发生沉淀,此时应投入小苏打进行中和,以免孔壁坍塌。

⑤冲击成孔过程中,泥浆浓度的检测应随地层的而变化而变化,严格按规范要求施工。

⑥在岩溶地区成桩选用冲击钻机成孔时,所控制的冲能应以2.5~5 t·m为宜。冲能小则破碎能力小,钻孔速度进尺慢;但冲能过大,通过顶板的速度就快,易卡钻。

⑦合理制定施工顺序。在同一座桥梁的范围

内宜跳墩施工,同一桥墩桩基础宜只采用一台钻机施工。桩基施工时,应先安排外围桩、而后中间桩,先安排含有较深、较大、较多溶洞的桩孔施工以及长桩施工,后安排短桩、溶洞较小的桩孔施工。

#### 5 所采用的岩溶处理技术与方法

##### 5.1 注浆加固

(1)地表注浆:根据实际地质情况在每一根桩基周边地表钻4个注浆孔。钻机为地质钻机,采用岩芯管开孔,钻进分层采样。在土体中形成纵横交错的网状浆脉或浆体,使注浆段岩土体的孔隙被浆液充填或挤密,泥浆液流与土体混合成新的固体,以达到提高地基土承载力的作用。

(2)填充注浆:注浆法也兼顾对桩基孔内全填充、半填充岩溶进行加固与填充。对于可能存在溶洞的桩孔,特别是半填充或无填充物的溶洞采用小钻头进行正循环超前钻,钻穿溶洞顶板直至终孔标高,补充优质泥浆以及用锯末和粘塑土加水拌成软塑状的混合物,用其填满溶洞。

##### 5.2 回填法

采用回填法钻至溶洞顶1 m左右时,变换小冲程,逐渐将洞顶击穿,以防止卡钻。当冲孔穿透土洞或溶洞顶板后,立即提出钻头,抛填片石、水泥、粘土等填充料,然后采用小冲程施工,从而将填充料挤压入溶洞,形成桩孔护壁。为了确保护壁的稳定,采用这种回填、挤压方式需经过3~4个循环。溶洞回填高度在洞顶以上1~1.5 m,再多则效果会下降,每进尺0.5 m回填一次,其目的是将粘土和片石充分挤入溶洞,如果在回填过程中出现孔内泥浆漏失,应及时补充泥浆。回填料之各种材料的比例要视工程地质勘察所探明的溶洞内填充物的种类具体确定。

##### 5.3 混凝土灌注法

对于较大溶洞,可以采用灌注低标号混凝土的方法进行处理。当击穿溶洞顶板发生漏浆时,为节约混凝土灌注量,先填粘土块和片石,反复冲挤,待溶洞填注基本饱满时,再下导管灌注低标号混凝土,混凝土应灌至溶洞顶1 m以上,待混凝土达到一定强度后方可继续钻孔。

对于有些较大的半填充溶洞内部分填充物强

度较高、形成类似“探头石”等地形,钻孔时容易发生偏孔卡钻,出现这种现象时,采用填充混凝土的方式进行处理效果较好。

#### 5.4 钢护筒跟进法

##### (1) 钢护筒的选择。

内护筒长度和内径的确定:护筒长度  $L = (h + H) m$ 。式中  $h$  为超前钻确定的溶洞高度; $H$  为溶洞顶到地面加 30 cm 的高度。

单层护筒内径大于桩直径 10 cm,多层护筒最内层护筒的内径大于桩直径 10 cm,其外面一层护筒内径大于内层护筒外径 10 cm 并以此类推。钢护筒要具有一定的刚度,单个大溶洞用单层护筒,两个大溶洞用双层护筒,以此类推。

##### (2) 内护筒的沉放。

当冲击穿过溶洞顶部时要反复提升冲锤,在顶部厚度范围上下慢放轻提,若冲锤不明显受阻,说明顶部已成孔并且圆滑、垂直,此时,用钢丝绳活扣绑住内护筒,用吊机把内护筒放入外护筒内沉至孔底,必要时用振动锤辅助内护筒下沉。

##### (3) 所采用的施工关键技术。

对于连珠溶洞或大溶洞塌孔,应先采用片石、黏土或其他措施钻至大溶洞或连珠溶洞最底部后,采用护筒跟进至稳定岩土层以防止塌孔,再换小钻头钻进。确保钢护筒置入稳定地层是保证孔

口平面位置准确性的关键。同时,由于岩溶地层的均匀性,岩层间主要是一些流塑状的填充物,因此,如何确保钻孔过程中不塌孔,使钢护筒底脚与孔壁保持密贴以起到有效支撑孔壁的作用亦是关键。井口段采用 12 m 长的加长钢护筒护壁时,应在混凝土未初凝、扩孔率满足要求时及时拔除钢护筒,以达到不影响成桩质量的目的。

#### 6 结语

笔者以那龙河 1 号特大桥桩基施工实例为基础,探讨了沿海复杂地质条件下岩溶区桩基施工的技术,结合其他单位岩溶区桩基施工安全技术经验,参考铁路建设类似工程施工实例及专家、设计单位的意见,在施工过程中以技术标准为前提,调整和优化了施工中各种控制参数,采用数理统计分析方法,总结形成了该复杂地质条件下岩溶区桩基施工技术。

##### 作者简介:

李正全(1976-),男,四川成都人,项目常务副指挥长,高级工程师,硕士,从事铁路工程施工技术与管理工作;

冉鹏(1985-),男,四川巴中人,项目总工程师,工程师,从事铁路工程施工技术与管理工作;

石智鑫(1993-),男,四川成都人,项目工程科副科长,助理工程师,从事铁路工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

## 北川开茂水库建设近况

由中国电建集团水电十局承建、中国电建集团成都院设计的开茂水库库区枢纽工程位于四川省绵阳市北川羌族自治县安昌镇开茂村,其核心任务是向北川新县城及周边乡镇、安县县城以及北川——山东产业园区、安昌工业园区、永安——香泉工业园提供生活、生产供水以及向安江、安绵、安昌河灌区提供灌溉用水。

开茂水库工程主要由苏宝河取水枢纽工程、引水工程、水库库区枢纽工程、城市供水等工程组成。水库库区枢纽工程主要包括主坝、1#~5#副坝,左、右岸山脊防渗、溢洪道、放空洞及供水洞施工。水库正常蓄水位高程 608 m,主、副坝坝顶高程 612 m,主坝最大坝高 56 m,左、右岸库周 5 处坝口位置共设置 5 个副坝共同拦蓄库水。主坝采用钢筋混凝土面板堆石坝,上下游坡比为 1:1.4,面板厚度为 35 cm;副坝均为复合土工膜防渗的土石坝,上游坡比为 1:1.8,下游坡比为 1:1.4。主、副坝坝基及左岸山脊、右岸山脊坡脚以下防渗采用垂直帷幕灌浆防渗,右岸山脊坡面采用铺设复合土工膜防渗。该工程主要工程量土石方开挖达 130 万  $m^3$ ,土石方填筑 110 万  $m^3$ ,帷幕灌浆 11 万  $m$ ,复合土工膜铺设 12 万  $m^2$ 。水库位于岩溶地区,施工区域地层以砾岩、泥岩互层结构为主,互层层厚薄,一般为 1~3 m。施工过程中遇到了大大小小不同规模的溶洞、溶槽、溶沟。水电十局项目部严格按照设计要求并以自身丰富的施工经验克服和处理了施工中遇到的一系列技术难题。在帷幕灌浆施工过程中,采取了不同的灌浆处理方式和方法进行试验,并对不同的灌浆方式掺加不同材料加以比对,从业主角度出发,思业主之所思,想业主之所想,在确保质量的前提下,减少了投资,节约了成本。在主坝填筑过程中,水电十局项目部建设性的向业主和设计提出了上游坝坡采用挤压式边墙固坡的施工方法,确保了工程安全度汛并提高了主坝上游坝坡施工质量和工程形象面貌。自 2013 年开工以来,水电十局项目部以“百年大计,安全第一,质量为本”的施工宗旨,紧跟公司和分局标准化管理的热潮,以保质保量的服务态度和履约精神,在业主心中留下了很好的影响。目前该工程已完成 1988 个单元工程,完成总工程量的 95% 以上,优良率达 90%。(中国水电十局 李旺盛)