

# 旋挖钻机在岩溶地区干作业成孔方法与质量控制

刘 勇, 李翠芝

(中基发展建设工程有限责任公司, 北京 101300)

**摘要:**在沪昆铁路盘州站桩基施工中,采用旋挖钻机干作业成孔,成孔过程中近 1/3 的桩基遇到了溶洞。通过分析不同病害情况,针对在岩溶地层施工中遇到的无充填和半充填溶洞地质条件,分别采取了土石回填筑壁、反转复压,素混凝土挤扩成孔、分段成型,钢护筒护壁、挡截桩混凝土,斜岩找平、重新钻进,定位回填、水泥固化等技术措施,完成了桩基的施工任务。

**关键词:**岩溶地区;溶洞;旋挖钻机;桩基;干作业成孔

**中图分类号:**TU473 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)01-0081-05

## Dry rotary borehole drilling and quality control in the karst area

LIU Yong, LI Cuizhi

(China Solibase Engineering Co., Ltd., Beijing 101300, China)

**Abstract:** In the construction of pile foundation at the Panzhou Station of the Shanghai - Kunming Railway, the rotary drill rig was used to dry-drill the holes, and dissolved caves were encountered in drilling of nearly 1/3 the foundation piles. Based on the analysis of different adverse situations, and according to the geological conditions of unfilled and semi-filled karst caves encountered, specific technical measures were adopted, including wall construction by backfilling soil and stone and compaction by reverse rotation, sinking boreholes section by section by squeezing plain concrete, protection of borehole walls and retaining of pile concrete with casing, leveling of uneven rock surface and re-drilling, point-backfilling and cementation; as a result, the pile foundation was successfully completed.

**Key words:** karst area; karst cave; rotary drill dig; pile foundation; dry-drill hole

岩溶地区普遍存在地质复杂、地下水丰富、溶洞发育等情况,给桩基施工和质量的保证带来很大困难。覆在溶洞上方的弱固结砂层易引起孔壁的坍塌,起伏倾斜的溶洞顶板容易造成钻孔偏斜,溶洞形状差异导致成孔措施的多变,充填物的形态直接影响桩基成孔的质量<sup>[1-2]</sup>。因此,岩溶地区的桩基施工必须采取可靠的施工技术和质量控制措施。本文以实际工程为例,针对旋挖钻机在岩溶地区干成孔作业过程中易出现的质量问题给出解决的实例,并阐述了成孔过程中的质量控制要点,以及成孔后的质量检验注意事项。

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

新建沪昆铁路盘州站主站房总建筑面积 25091

m<sup>2</sup>,站房桩基共设计 385 根。采用旋挖钻机干作业(场区附近无水源,取水困难)钻孔灌注桩(桩端后压浆),嵌岩端承桩,桩径 800 mm,C40 混凝土,桩端持力层为<28-3>W2 中等风化灰岩、或<29-2-2>W2 中等风化泥灰岩夹泥岩。场区内存在溶洞,因工期紧,未进行注浆等方法的预处理。经统计 30 个溶洞涉及基础桩 112 根,涉及到全部桩基的近 1/3。

### 1.2 工程地质情况

该地区处于岩溶地区。场地范围内 5~10 m 为回填碎石粘土混合料。下伏灰色灰岩及泥灰岩夹泥岩,灰岩中厚层状构造,岩心较完整,节理裂隙发育,裂隙呈张开状,溶蚀发育,呈晶孔状,泥灰岩夹泥岩中厚层状构造,本层中等风化带(W3)节理发育,岩心风化强烈,岩心呈碎块状。钻探揭示 30 个溶洞,以空溶洞为主,部分充填软塑—硬塑状粘土,车

收稿日期:2019-04-08; 修回日期:2019-12-15 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.01.015

作者简介:刘勇,男,汉族,1976 年,质量部主任,高级工程师,岩土工程专业,北京市顺义区机场东路国门商务区中国冶金地质 4 号楼,liuyong@solibase.com。

引用格式:刘勇,李翠芝.旋挖钻机在岩溶地区干作业成孔方法与质量控制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):81-85.

LIU Yong, LI Cuizhi. Dry rotary borehole drilling and quality control in the karst area[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):81-85.

站股道物探测试结果表明,测区岩溶中等发育。存在特殊性软土,分布于场坪范围内沟槽中,呈透镜状分布。主要施工区域溶洞率高。由于软土孔隙比大,含水量高,具高压缩性,低承载力等特点,其力学性质极差,不易成孔。

地表水主要为沟水及堰塘水,水量随季节性变化,受大气降雨补给,以蒸发和地表径流形式排泄。孔隙水主要赋存于第四系土层中,透水性及富水性均较差,第四系孔隙水不发育,主要接受大气降雨和地表水体的补给。对钻孔影响不大。

具体地质情况为:测区沟槽覆盖第四系坡洪积(Q<sub>4</sub><sup>dl+pl</sup>)粘土、软土,缓坡上多为薄层坡残积(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>)粘性土所覆盖,基岩部分裸露,下部为三叠系下统永宁组第三、四段(T<sub>1</sub>yn<sup>3+4</sup>)灰岩;三叠系下统永宁组第二段(T<sub>1</sub>yn<sup>2</sup>)泥灰岩夹泥岩。地层由新老分述如下:

- 〈0-2〉溶洞(Q<sub>4</sub><sup>ca</sup>):全充填软塑状粉质粘土。
- 〈0-3〉溶洞(Q<sub>4</sub><sup>ca</sup>):全充填硬塑状粉质粘土。
- 〈0-5〉溶洞(Q<sub>4</sub><sup>ca</sup>):空溶洞。

〈1-2〉素填土(Q<sub>4</sub><sup>ml</sup>):灰褐色,硬塑,主要以粘土为主,夹含20%碎石角砾,粒径10~30mm,石质成分为中等风化泥灰岩夹泥岩。为修筑房屋及高速公路所致,属Ⅱ级普通土。

〈6-1〉软土(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>):黄褐—褐红色,软塑—流塑,厚度为2~6m,埋深一般为0~2m,多位于平缓地带,属Ⅱ级普通土。

〈6-2〉粘土(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>):灰褐—褐红色,软塑状,厚度为2~8m,局部厚度可达10m,埋深一般为2~6m,属Ⅱ级普通土。

〈6-3〉红粘土(膨胀土)(Q<sub>4</sub><sup>dl+el</sup>):褐黄色,硬塑状,夹含少量碎石,石质成分为中等风化灰岩。主要分布于山坡上平缓地带,属Ⅱ级普通土,该地层具弱膨胀性。

〈28-3〉灰岩(T<sub>1</sub>yn<sup>3+4</sup>):灰色灰岩,隐晶质结构,薄—中厚层状构造,岩心较完整,呈柱状、块状,节理裂隙发育,裂隙呈张开状,裂隙间方解石石脉充填,溶蚀发育,呈晶孔状,岩心断面见暗红色水锈,岩质较硬,不易击碎,局部夹薄至中厚层泥灰岩。中等风化带(W3)厚0~4m,属Ⅳ级软石;弱风化层(W2)属Ⅴ级次坚石。该段地层含数层石膏。

〈29-2-2〉泥灰岩夹泥岩(T<sub>1</sub>yn<sup>2</sup>):泥质、隐晶质结构,中厚层状构造,本层中等风化带(W3)节理发育,岩心风化强烈,岩心呈碎块状,厚4~12m,属Ⅳ级软石;弱风化带(W2)节理较发育,多呈柱状、块状,属Ⅳ级软石。与下伏地层呈整合接触。

溶洞分布情况见图1。

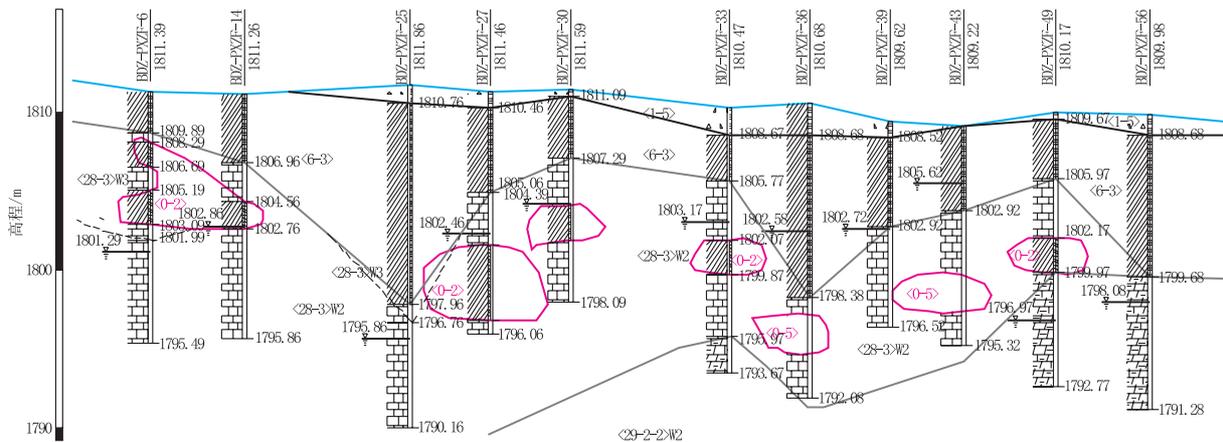


图1 溶洞分布情况  
Fig.1 Karst cave distribution

## 2 施工过程中存在的问题

车站站房范围内为混合填方,下伏岩性为灰岩,基桩需入中风化层1.5m。且本区域处于岩溶中等发育区。钻探揭示30个溶洞,以空溶洞为主,部分充填软塑—硬塑状粘土。从勘察报告剖面图上分析,岩

溶溶洞涉及基桩112个。如何处理好溶洞部位的成孔质量成为现场的关键点。项目前期施工的20根桩中有11根遇溶洞。其中发生偏孔的有4根桩,2根桩旋挖钻机钻杆已紧贴孔壁,不能继续施工;1根桩在钻进过程中,因偏孔将钻头方头掰裂;1根桩筒钻的边齿全部撕裂。因溶洞位于孔洞边缘,旋挖钻机

钻头一次进尺已至溶洞底部,未能发现溶洞的桩基 1 根,灌注混凝土 390 m<sup>3</sup>,是设计量的 35 倍,大大超过了预计的充盈系数。因溶洞内充填物为流塑性体,旋挖钻机提钻后回淤,不再进尺的有 2 根桩。因上部回填密实度不够造成孔口坍塌的 2 根桩。因回填土内存在石块,石块与钻头侧壁挤压造成扩径的 3 根桩。溶洞是影响施工成孔质量的主要因素。

对于岩溶地区,地质条件复杂,不可预见性非常多,仅以终勘资料进行施工的风险较大<sup>[3]</sup>,必须针对错综复杂的地质情况,提出切实可行的措施<sup>[4]</sup>进行施工。

### 3 施工问题解决措施

#### 3.1 土石回填筑壁、反转复压

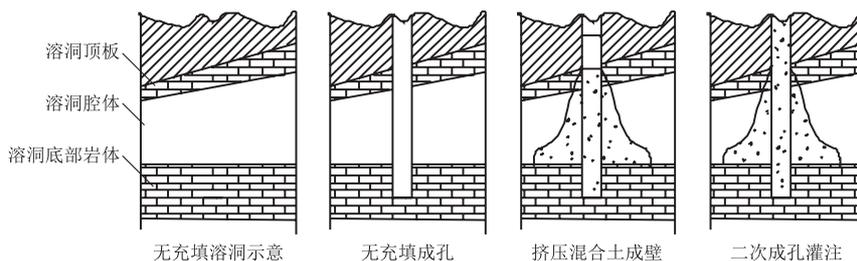


图 2 无充填溶洞回填混合土过程

Fig.2 Backfilling mixed soil into unfilled caves



图 3 回填混合土后复打渣土情况

Fig.3 Backfilling mixed soil and compaction

实施效果:在统计溶洞范围内,有 66 个属于这种无充填或半充填溶洞。用此法处理了 62 个,处理后混凝土量充盈系数低于 2.0 的 58 个,成功率达到了 93%。其他 4 根桩为前期成孔,因填筑土料较少,导致 3 个浇筑量过高充盈系数达到了 4.0,其余一个孔壁不稳,采用钢护筒护壁成孔后灌注。

#### 3.2 素混凝土挤扩成孔、分段成型

针对溶洞有充填的软塑粘土,采用片石粘土回填法<sup>[6]</sup>旋挖钻机钻进不进尺情况,解决方式为:首先回填混合料挤压,然后采用旋挖筒钻慢提方式成孔

针对溶洞内无充填或半充填,溶洞高度不太大,一般在 3 m 以内,土石回填后,采用旋挖机锁钻杆短螺旋钻头钻进挤压的方式和双底钻斗闭合斗门作为活塞、动力头直接加压的活塞加压方式将回填料压入溶洞。回填土石比例约为:片石、粘土和整包水泥按 1 m<sup>3</sup>:3 m<sup>3</sup>:0.75 t 比例,顺序为袋装水泥、袋装粘土、片石回填。粘土应有一定湿度,适当加入些清水,并加入凝胶堵漏剂<sup>[5]</sup>使片石、粘土形成塑性混合土。挤压混合土,分层挤压,每层回填 2 m 左右后,反复回转钻头挤压,直至钻机压力达到 30 MPa,不能挤压为止,进行第二层土挤压。2~3 d 后旋挖钻机二次成孔。成孔回填过程如图 2 所示,回填后复打渣土情况如图 3 所示。

1.5 m 左右后,回灌 C20 混凝土,混凝土面超过溶洞顶板(或已形成混凝土的护壁)约 3 m,采用筒钻进行挤压,将混凝土挤入孔周溶洞,待 48 h 后,混凝土强度达到约 70%,再进行钻进,此时挤入溶洞的混凝土形成了混凝土护壁,有效防止软塑土外流。如此反复,进行成孔。施工过程如图 4 所示,钻出的混凝土柱和孔底岩柱如图 5 所示。

实施效果:在施工过程中,共有 17 根桩进行了分段施工,其中 16 根一次成孔。其他 1 根因土质较软进行了加大混凝土量进行了二次成孔。此种方案处理成功率达到了 94%,但混凝土使用量过大,平均处理 3 m 以下的溶洞一根桩基混凝土用量为 15 m<sup>3</sup> 左右。

#### 3.3 钢护筒护壁、挡截桩混凝土

因溶洞较大,回填混合土后,不能很好形成孔壁的 2 根桩及固化法施工没有成孔的 1 根桩,经甲方同意采用钢护筒焊接在钢筋笼上,形成钢护筒护壁,保证了混凝土不流入溶洞,从而保证成桩质量。

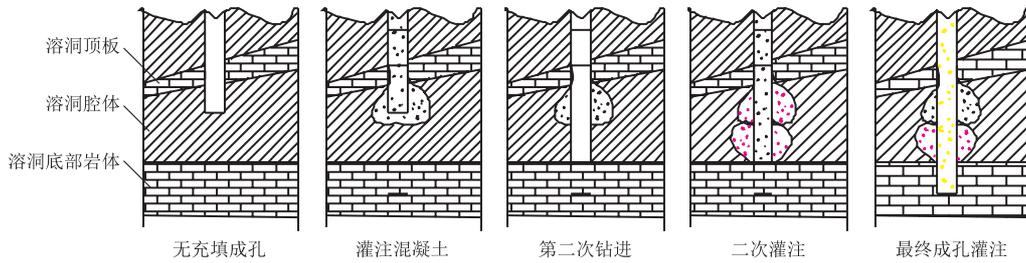


图4 有充填溶洞回填混凝土过程

Fig.4 Backfilling concrete into partly filled caves



图5 回填素混凝土后钻出的混凝土柱和孔底岩柱

Fig.5 Concrete pillars and hole bottom rock pillars drilled after backfilling plain concrete

护筒长度和内径的确定:护筒长度大于溶洞高度约1 m,其直径为0.8 m,等于桩直径。焊接在钢筋笼上时,采用塞焊将护筒固定在钢筋笼溶洞位置,上下各长出0.5 m,在护筒底部留0.1 m斜台,保证护筒能够顺利进入桩孔。钢护筒要有一定的刚度,现场使用钢板厚为10 mm。

实施效果:钢护筒有效地保证了护壁的安全性,但因进度慢成本高,没有过多使用。

### 3.4 斜岩找平、重新钻进

在岩溶发育地区,地下石芽、石笋普遍存在。特别是当施工进行至岩溶顶板时,可能产生不同程度的问题。特别是存在于孔位边侧时,极容易形成偏孔,如不重视,很可能造成钻头、钻杆断裂<sup>[7]</sup>。

为了防止此类事故的发生,遇到这种斜岩时进行混凝土回灌,灌注高度为高于斜岩高度20 cm,即用混凝土进行找平,待强度达到70%(C20)以上时,再进行钻进。但在旋挖钻机施工时,应注意加压力与扭矩等入岩参数的匹配<sup>[8]</sup>。也可增加嵌岩钻头高度抵抗斜岩侧压力,以保证钻孔垂直。

### 3.5 定位回填、水泥固化

针对分段成型混凝土用量大、钢护筒护壁费用高,项目部集体研究,采用定位回填水泥<sup>[9]</sup>的方法,解决了剩余的47根溶洞桩基。

处理方法如下:处理半充填、软塑土充填、无充填的溶洞时,当钻破溶洞顶板后,根据勘察报告溶洞的高度,从下向上依次进行水泥土固化。

第一步、定位投入水泥:破除底板后,将水泥成袋投入孔内,根据粘土的含水量投放量为5~15袋。然后用嵌岩钻头将水泥压送至溶洞底部。每次处理深度为1 m左右。

第二步、搅拌挤压:更换为短螺旋钻头,在投入水泥部位进行上下反复搅拌,钻头反转挤压。

上述步骤重复几次直至搅拌至溶洞顶板以上0.5 m左右。

第三步、固化后成孔:待2 d后进行桩基再成孔。

实施效果:用本法处理的47根桩基,一次成功处理了44根,2根桩基进行了二次固化,1根桩进行了素混凝土挤扩才得以成孔。利用水泥固化成功处理率为93.6%。

## 4 施工注意事项

详实的地质钻探资料对岩溶地区桩基施工十分重要,在地质勘探中岩溶发育情况掌握得准确与否,对施工质量、进度有直接影响,故岩溶地区桩基施工前,必须有详实的桩位地质资料<sup>[10-11]</sup>。做到详细研究勘察报告,对每一根涉及到溶洞的桩基的溶洞位置、高度类型进行详细统计。并将统计数据交底至技术人员及操作手,做到人手一册。

施工方案是施工技术指导性文件,岩溶地区桩基施工必须很好地结合地质情况,针对每一根桩基有针对性地编制<sup>[12]</sup>,结合实际细化工艺措施,切不可不结合实际直接引用相关的资料;处置措施应尽量确保成孔的质量,发生钻机卡钻等情况时,应保持冷静,切勿盲动,分析原因后再进行处理,可以杜绝大多数衍生施工病害。

现场施工管理十分重要,施工过程中根据现场情况和数据的及时反馈,有效地做出技术措施的调整,能够提高管理的效果。

## 5 桩基检测效果

本工程完成所有的桩基施工后,检测 380 根桩,一类桩 385 根,达到了 98%。通过改进成孔施工工艺,提高施工安全系数,避免出现偏孔、不能成孔所引起的二次成孔,加快了施工进度,减少了混凝土用量,提高了经济效益。取得了较好的施工效果。

本次桩基检测采用的是声测检测,在同步小应变完整性检测过程中发现在部分基桩测量时,波形在溶洞处显示断桩,后取心桩心完整。分析原因为溶洞处急剧扩孔所致。

## 6 结语

通过对岩溶地区桩基旋挖钻机施工所遇岩溶形态及病害成因的分析,并进行岩溶地区桩基承载力评价及施工技术综合研究,可以看出,只有掌握桩基下伏岩溶形态的发育情况,考虑覆盖层、隐伏岩溶特征、岩溶水特征,才能在施工时“对症下药”,采取正确的预防措施和施工工艺,最大程度地避免施工病害的出现。不管采用哪种施工工艺,为了保证工程进展顺利,必须最大限度地准确掌握桩位处的水文地质资料,特别是对于复杂岩溶地区,应采取逐桩钻探,探明具体桩号溶洞情况,最好在基础施工前制定好相应的处理方案。对于揭露有溶洞、裂隙发育等不良地质情况的桩基,应本着先易后难的原则安排施工顺序。在含水量较少的岩溶地区采用干成孔旋挖作业,应根据实际情况灵活用好“填、挤、挡”措施。

## 参考文献(References):

- [1] 母进伟,雷明堂,梁军林,等.岩溶路基病害与处置技术国内外研究现状[J].中国岩溶,2005,24(2):89-95.  
MU Jinwei, LEI Mingtang, LIANG Junlin, et al. Status quo of the study on subgrade diseases and the treatment techniques in karst area[J]. Carsologica Sinica, 2005,24(2):89-95.
- [2] 温汉德,张所邦.深圳葵涌西立交桥桩基溶洞的处理方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(7):36-37.  
WEN Hande, ZHANG Suobang. Treatment of karst cave in pile foundation of Kuiyongxi Overpass in Shenzhen[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2005,32(7):36-37.
- [3] 孟宪中,肖家靖,胡先法,等.岩溶地区基桩工程超前钻勘察及优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):47-49, 53.  
MENG Xianzhong, XIAO Jiaping, HU Xianfa, et al. Advanced drilling exploration for foundation pile engineering in karst region and the optimization design[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(8):47-49,53.
- [4] 方成.穿越复杂溶洞地质的钻孔灌注桩施工方法[J].国外建材科技,2008,29(3):93-95.  
FANG Cheng. Construction techniques of bored piles in complex karst district[J]. Science and Technology of Overseas Building Materias, 2008,29(3):93-95.
- [5] 左文贵,朱林,吴兵良,等.聚合物凝胶堵漏剂在大裂隙溶洞地层中的研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(9):19-24.  
ZUO Wengui, ZHU Lin, WU Bingliang, et al. Polymer gel plugging agent used in formation with large size caverns and fractures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(9):19-24.
- [6] 陈伏冰.无充填溶洞的桩基成孔方法及质量控制[J].交通科技,2010(4):44-45.  
CHEN Fubing. Foundation pile hole drilling and quality control in unfilled karst caves[J]. Transportation Science & Technology, 2010(4):44-45.
- [7] 王晓欢.桥梁施工中岩溶桩基施工技术[J].黑龙江交通科技,2017,40(3):108-109.  
WANG Xiaohuan. Construction technology of karst pile foundation in bridge construction[J]. Communications Science and Technology Heilongjiang, 2017,40(3):108-109.
- [8] 贾学强,张继光,罗延严,等.旋挖钻机碎岩计算方式的分析探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(6):23-27,32.  
JIA Xueqiang, ZHANG Jiguang, LUO Yanyan, et al. Discussion about calculation methods of rock fracturing by rotary drill[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(6):23-27,32.
- [9] 赵宝军.高铁特大桥斜岩多层岩溶桩基施工技术[J].设备管理与维修,2016(1):91-93.  
ZHAO Baojun. Pile foundation construction technology for the high speed rail bridge in multi-layer karst with dipped rock surface[J]. Equipment Management and Maintenance, 2016(1):91-93.
- [10] 刘艳灵.基于岩溶复杂地质的高速公路桥梁桩基施工技术研究[J].四川水泥,2016(1):228.  
LIU Yanling. Pile foundation construction technology for the highway bridge in complex karst geology[J]. Sichuan Cement, 2016(1):228.
- [11] 胡朝彬,戴苗,王宝勋,等.公路路基下溶洞的探测与加固处理实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(8):67-69.  
HU Chaobin, DAI Miao, WANG Baoxun, et al. Detection and reinforcement practice of karst cave beneath roadbed[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(8):67-69.
- [12] 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.  
XU Yuesong. Selection of pile type for pile foundation of high building and its construction in karst region[J]. Exploration Engineering, 2000(6):17-19.

(编辑 周红军)