

# 桩基质量事故综述

朱奎<sup>1</sup> 徐日庆<sup>1</sup> 周鹏飞<sup>2</sup>

(1. 浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室, 浙江杭州 310027; 2. 温州大学, 浙江温州 325000)

**【摘要】** 从勘察方面、设计方面和施工方面分析了引起桩基质量事故的原因, 通过工程实例对桩基质量事故作分类分析, 认为勘察方面的不健全、设计方面的过失和施工方面的不规范是导致桩基质量事故的主要原因。

**【关键词】** 桩; 质量事故; 勘察; 设计; 施工

**【中图分类号】** TU 473

## Review on Pile Quality Accident

Zhu Kui<sup>1</sup> Xu Riqing<sup>1</sup> Zhou Pengfei<sup>2</sup>

(1. Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Ministry of Education,

Zhejiang University, Hangzhou Zhejiang 310027; 2. Wenzhou University, Wenzhou Zhejiang 325000 China)

**【Abstract】** The reasons of pile quality accident are analyzed from investigation, design and construction, and pile quality accidents are classified through engineering examples. It is hold that unsound investigation, design fault and unstandardized construction are the main reasons for pile quality accident.

**【Key Words】** pile; quality accident; investigation; design; construction

## 0 引言

对已有桩基质量事故作分类分析对桩基事故的防范有重要意义, 引起桩基质量事故的原因有多种, 有勘察方面的不健全、设计方面的过失和施工方面的不规范, 同时也可能有多种因素交织在一起。

### 1 勘察方面

工程勘察主要是提供工程建设场地的地质水文等资料, 以满足设计施工需要。勘察资料的精确性, 将直接关系工程的安全和经济, 因此它在工程中起着先行和保证作用。常见的勘察方面的问题有:

#### 1.1 勘察不规范

一些地质勘察人员不能按《岩土工程勘察规范》<sup>[1]</sup>规定进行工作。文献[1]第 4.1.5 条, 复杂地质条件下详细勘察点间距为 10~15 m, 中等复杂地质条件下勘探点距离为 15~30 m。某工程土层在水平方向变化较大、相邻勘探两点之间层面坡度较大, 勘察单位并未根据这种情况加密勘探点, 详细勘察点间距达到 35 m, 不能准确反映软土层的分布和变化规律。由于勘探点间距过大, 勘察单位提供的设计依据不充分, 导致设计单位持力层选择有误, 施工时沉管产生困难。另外, 岩土工程勘察报告揭示该

建筑物下局部存在欠固结土, 勘探点距离过大无法探明软弱下卧层的真实分布, 从而无法为设计提供准确的计算依据。桩施工完毕后, 桩静荷载试验表明承载力未达到要求。

#### 1.2 勘察资料失真

个别地质勘察人员弄虚作假, 提供虚假地质勘察资料, 酿成桩基质量事故。某医疗大楼地基土质复杂, 但承担这项工程勘察的单位, 在勘察中既不取土样做土工试验; 又不在现场做动力触探测试。其所提供的物理力学指标是根据经验估算。勘察资料中数据表明桩尖可穿入持力层 2 m 以上, 但实际却因持力层坚硬而不能使桩尖穿入。致使数百根钢筋混凝土预制桩均高出地面 3~5 m, 不仅影响工程进度, 而且还造成十多万元的经济损失。

#### 1.3 勘察不彻底

一些工程地质条件较复杂, 工程地质勘察单位不能准确地反映复杂的工程地质条件, 从而导致桩质量事故的发生<sup>[2]</sup>。某工程处于涂滩地域, 勘察时未发现承压水, 对场地土分析不详细, 对土含有有机质未引起足够的重视, 盲目建议设计采用水泥搅拌桩。水泥搅拌桩施工时发现水泥喷浆不顺畅, 水泥浆不能与土拌合, 存在严重的溢浆现象, 尤其在浅部

注浆时更为严重。静荷载试验表明水泥搅拌桩承载力削弱很多,经抽芯试验发现桩芯呈松散状,即使在太阳曝晒下强度依然增长不大。为了解出现以上问题的原因,用挖掘机械把桩长范围内土层挖出,发现2~3 m处出现承压水,5~6 m左右土质为腐殖土,把这层土与水泥浆拌合竟然不能凝固,后来采用多种外加剂才使土与水泥浆有效凝固,改造了水泥搅拌桩的施工机械才控制住水泥浆的溢浆现象。

#### 1.4 勘察深度不够

有的工程虽然进行了地基土质勘察,但勘察工作质量有问题,勘察的精度差,深度不够,致使对地基的土质情况并没有完全探明,给工程埋下了安全隐患<sup>[3]</sup>。某工程建设单位为节约成本,要求降低勘察深度,勘察单位屈从于建设单位意见,后来引起了桩基质量事故。该工程第一层为回填土,深度为1.5~2 m;第二层为粘土,深度为1~1.4 m;第三层为淤泥土,深度为18~19 m;第四层为粉质粘土,深度为2~4 m,第五层为淤泥土夹层,深度为0.8~1.2 m,第六层为粉质粘土,深度为16 m。地质勘察深度仅为25 m,建议桩持力层设置在第四层,桩长为22 m。建筑物在竣工时发现较大的沉降,不得不采取加固措施。事故分析认为主要原因是勘察深度不够,桩持力层选用不合理。

#### 1.5 勘察结论不明确

勘察单位在详细勘察的基础上,有责任对设计和施工提出合理化建议,避免设计桩基选型、施工工艺不合理等情况发生,但有些勘察单位未有效地履行自己的职责<sup>[4]</sup>。

某工程填土已多年,原始地貌变化较大,土体已完成自重固结,并含有大量的漂石和孤石,桩尖容易偏移,不宜采用振动沉管灌注桩,勘察单位在地质报告中未反映而且未提出场地不适合桩型的建议。在未考虑施工因素的情况下,桩型采取振动沉管灌注桩。振动沉管灌注桩施工完毕后发现76%桩出现桩位偏差,桩最大偏差达37 cm,不得不采取加固措施。另外,勘察单位未明确软弱下卧层处理建议,未提供软弱下卧层的处理或地基变形验算建议,给设计和施工带来了一定的困难。

#### 1.6 勘察技术手段滞后

工程地质勘察单位技术手段跟不上要求,使数据采集不准,影响了对地层的判断<sup>[5]</sup>。某工程地质勘察报告提供的资料与施工中遇到的实际地质情况相差不大,但根据地质资料预估的单桩承载力误差偏大。究其原因,该工程有较厚的淤泥质粘土,地质

勘察报告提供的淤泥质粘土物理力学指标与实际有较大出入,根据《岩土工程勘察规范》<sup>[1]</sup>,淤泥质粘土的钻探取样应与原位测试相结合,原位测试宜采用静力触探、十字板剪切试验,而标准贯入试验方法未被列入适用范围。但初次勘察时对该土层原位测试采用标准贯入试验,不符合规范要求,不能提供该土层的准确数据,据此进行工程设计无法保证其可靠性。此外,该工程第三层土存在欠固结土,且分布无规律。该勘察单位由于勘察不完全,未提出土层欠固结问题。

## 2 设计方面

桩基设计时应掌握地基土质状况,根据施工工艺情况,因地制宜采取合理桩基方案,使承载力和沉降均符合规范要求<sup>[6]</sup>。但有的设计单位并不重视上述基本要求,致使因设计过失而造成桩基质量事故的情况时有发生。

### 2.1 无勘察依据

不经勘察就盲目自定地基土承载力的情况,在偏僻地区仍有发生。一些工业园区内,统一对工业园区内场地作了初步勘察,个别工业厂房业主未对单体工程进行详细勘察,以初步勘察代替详细勘察,造成桩基的设计及施工无指导依据,仅靠经验设计、施工。

### 2.2 设计不合理

桩基设计方案要根据地质情况选择合适的桩型,因地制宜地采用恰当措施,脱离现场地质状况的不合理方案往往会带来不良后果<sup>[7]</sup>。某工程地处旧河道,属于冲积地层,地下水位高,这种地质水文条件不适宜于人工挖孔桩施工。设计人员未详细考虑场地情况,贸然地采用了人工挖孔桩。现场施工中为降低水位从而避免塌孔,不停抽水,由于细砂层颗粒小,在降水过程中被不断抽走,造成钢筋混凝土护壁由于周边旧填土受扰动下沉的影响,处于悬空状,进而出现护壁开裂,施工中的流砂现象得不到控制。后来把人工挖孔桩改成机械冲孔桩,桩施工得以顺利完成。

据场地地质条件,场地土为饱和深厚软土,中间硬夹层约为2~3 m,勘察单位建议不宜采用振动沉管灌注桩,而设计单位凭经验认为可以采用沉管灌注桩。由于该桩为端承桩,设计人员要求以贯入度作为收锤标准,未明确桩端持力层,桩长大致控制在21~23 m。据地质勘察报告,大部分钻孔在埋深18~20 m时土层标贯击数在200击以上,而锤重采用3 t的桩机只能打到标贯击数30击左右就无法再沉管了,故造成桩长无法达到设计要求,设计提出的

桩长 21~23 m, 不符合地质条件和成桩工艺要求, 造成一部分桩端支承于硬塑残积土层, 另一部分则支承于风化基岩上, 建筑物在结构结顶时便出现了不均匀沉降。

### 2.3 设计经验不足

每种桩型都有特定的适用范围, 而部分设计单位未注意这点, 造成桩基质量事故<sup>[8]</sup>。

某工程地质报告表明该场地有 0.6~1.5 m 厚湿饱和、松散状的粉砂层, 在振动沉管灌注桩穿过此土层时, 有可能使其液化, 从而引起质量事故。设计单位对此未引起足够的重视, 盲目采用振动沉管灌注桩。振动沉管灌注桩施工在穿透可液化土层时出现桩身颈缩或断桩等缺陷, 低应变检测表明桩身混凝土强度偏低, 静荷载试验也显示桩承载力严重不足。

### 2.4 安全系数过大

基础是把将上部荷载传给地基的构件, 而桩作为地基承载的主要构件, 两者都必须具有足够的强度和刚度。但是一些设计者在设计地基基础时, 未能准确地计算, 致使有的工程地基基础安全系数过大, 造成严重浪费; 有的则因为强度和刚度不够而使地基基础承载力不足<sup>[9]</sup>。

某七层框架结构的办公楼, 在装修阶段突然出现急剧沉降, 沉降速率达到 6 mm/d。经调查, 设计单位没有按规范要求的安全系数进行地基基础计算, 因失误减少了办公楼的活动荷载, 活动荷载取值为 2.0 kN/m<sup>2</sup> (建设单位要求的活荷载为 4.0 kN/m<sup>2</sup>), 致使设计荷载偏低, 而建设单位在该办公楼装修时增加了外挂石幕墙等恒荷载, 经验算该工程基础安全系数仅为 1.1。此外, 离该办公楼 200 m 左右处有一座高架桥, 交通荷载对地基土的震动影响可能也是上述结构出现事故的原因之一。

### 2.5 未考虑上部结构情况

地基设计要依据地基土质和上部结构等情况选用基础类型, 以使其强度和稳定性能够满足安全、耐久性要求, 并与上部结构相对应<sup>[10]</sup>。有的工程基础与上部结构的强度和稳定性不匹配, 基础过于薄弱, 以致造成事故<sup>[11]</sup>。某建筑物主楼 12 层, 裙房 2 层, 采用直径为 700 mm、桩长为 72 m 的机械钻孔灌注桩。基础设计时裙房与主楼未分离, 联结部位采用后浇带施工。该工程在装修阶段出现八字形不均匀沉降裂缝。究其原因, 设计时未将裙房与主楼有效分离是出现上述事故的主要原因之一。

### 2.6 未考虑周围环境

忽视周围环境对桩基工程的影响往往会带来

不良后果<sup>[12]</sup>。某工程为了节约经济, 采用复合桩基。众所周知, 复合桩基是由天然地基土和桩基来共同承受上部结构荷载的一种特殊桩基础, 其本质是桩土共同作用。该建筑物在竣工时绝对沉降较大, 结构出现不均匀沉降裂缝, 开挖基础后发现承台与土脱离, 显然与桩土共同作用原理相悖。经调查, 该工程施工时附近 30 m 处有地下室同步开挖, 地下室开挖时进行了降水, 降水使土出现固结, 导致承台悬空, 土不能参与承载, 从而发生桩基质量事故。

## 3 施工方面质量事故

一些施工企业对桩基质量不重视, 不按设计图纸和施工规范要求施工, 桩基施工时粗制滥造, 甚至偷工减料、弄虚作假。致使近年因施工过失而造成的桩基质量事故不乏少见。

### 3.1 未按设计施工

某工程桩基采用预制管桩, 为摩擦端承桩。地质坡度起伏较大, 持力层为粉质黏土, 设计要求进入粉质黏土至少 1.5 m。施工时应采用桩长和贯入度双控, 贯入度控制指标为最后三阵 (每阵十击) 贯入度不大于 15 mm。施工时未注意贯入度控制, 有些桩最后三阵 (每阵十击) 甚至达到了 100 mm。静荷载试验表明部分桩承载力达不到要求。

### 3.2 违反施工程序

某厂房在施工中, 为了赶工期, 不顾施工程序, 采取边打桩边挖土。并在打桩时随意加大锤重, 加快锤击速度, 致使桩周土超孔隙水压力急剧增加, 土结构受扰动破坏, 影响边坡稳定导致坍方。由于坍方使桩侧向受压, 桩出现偏移。在 148 根桩中, 偏移 30~40 cm 的有 5 根, 偏移 20~30 cm 的有 25 根, 偏移 7~20 cm 的有 60 根。后来补了 30 多根桩来加固, 不仅经济上造成损失, 而且耽误了工期。

### 3.3 没有采用合理的施工工艺

合理的施工工艺是避免桩基事故发生的必要条件。因不合理施工工艺导致桩基质量事故的事例时有发生<sup>[13]</sup>。某施工单位在人工挖孔桩施工过程中, 各段护壁钢筋之间没有采取适当的连接手段, 使护壁成为若干个简单的堆置, 不是一个有机的整体。上段护壁完成后, 进行下段土体开挖时, 对护壁正下方土体未按上宽下窄的楔形开挖, 而是垂直开挖, 致使浇灌前, 上段护壁处于悬空状态, 桩下部软-流塑状态的有机质黏土不断蠕变, 直至质量事故发生。

### 3.4 不按规范施工

桩基是建筑物的重要部位, 因此必须按规范规

定要求施工,以切实保证其工程质量。但近年却发现一些工程的桩基施工违背施工规范要求,致使不能保证质量,带来严重隐患<sup>[14]</sup>。

某厂房工程采用沉管灌注桩,场地土为饱和软土,其中有 12 m 左右厚的淤泥土。根据《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》(JGJ 4—80)第 3.2.49<sup>[15]</sup>,拔管和灌注混凝土应按下列规定进行:拔管速度应均匀,对一般土层以不大于 1 m/min 为宜,在软弱土层及软硬土交接处,应控制在 0.8 m/min 以内。据施工记录,拔管速度远快于施工规范,最快甚至达到了 1.8 m/min。施工后,桩静荷载试验表明其单桩实际承载力仅达到设计的 50%~70%。经抽检,该工程桩普遍缩径,平均桩径只达到 0.27 m,平均缩径率是设计桩径的 25%。

### 3.5 不按施工组织方案施工

施工组织方案是指导施工的重要技术资料,在施工组织设计中对桩基施工方案和施工程序作了统筹安排。部分施工单位未遵循施工组织方案,施工组织方案形同虚设,从而不能保证桩施工质量<sup>[16]</sup>。

某工程在基坑开挖时未按施工组织方案要求合理堆放土方,将其就近堆放在南北两侧,其中一侧堆放较高。桩基验收过程中,发现桩出现较大的倾斜偏位,土方堆放较高的北向一侧的外边纵轴与内墙横轴相交 7 个承台群桩共 23 根桩发现了异常偏位,且中间承台群桩偏位较大,最大偏位为 260 mm,土体坡面上已明显开裂,龙门桩明显向内倾覆。人工杂填土基本挖除后,桩上部正在流塑状的淤泥中,基坑开挖深度和堆土高度约 5 m 左右,形成了一个“基桩边坡”,造成坡底淤泥层承载力不足而向基坑内部挤动,边坡在一定范围内滑动,使淤泥由坡脚向基坑内产生水平位移,推动桩向基坑内倾斜。

### 3.6 施工工艺不合理

施工工艺合理是杜绝桩基事故发生的重要保证<sup>[17]</sup>。机械钻孔灌注桩施工工艺要根据地质情况确定,反循环工艺在卵、砾石层中操作时,反循环一半管路容易堵死,某工程因此而发生桩质量事故,后来改用正循环钻进,采用间断给进、间断回转的方法控制钻进,桩质量事故得到有效控制。

基坑土方开挖在开挖过程应遵循“先撑后挖”的原则,即在需要开挖部位先安装支撑,然后再开挖土方。各层土方开挖,均应左右两侧对称进行。而某工程施工单位在开挖土方前没有待支撑系统的砼强度达到设计强度 100%后进行,导致支撑梁强度不够而断裂。土方开挖每层厚度超过了 2 m,开挖顺

序未严格遵循由边至中开挖方法,造成局部超挖而淤泥流动造成桩倾斜及损坏。

### 3.7 施工机械不合理

不同的桩型、施工场地、桩承载力对施工机械的要求不同,施工时要综合各种因素统筹兼顾<sup>[18]</sup>。

对于锤击沉管灌注桩,要采取重锤轻击方式,而不是轻锤重击方式,后者易使桩顶破坏。不同型号振动锤的激振力是不同的,对于不同单桩承载力采用合适振动锤。沉桩控制仅采用“双控”措施是不够的,因为沉桩最后贯入度和沉桩长度大于设计最短桩长这两个要求对于小功率振动锤是较容易满足的,但这种“小马拉大车”是偏于不安全的,因此对于桩基设计者来说,除言明桩基施工控制指标外,尚应根据不同的持力层和单桩承载力确定最小激振力或打桩机振动锤型号。

某工程采用机械钻孔灌注桩,设计要求桩进入微风化岩 0.8 m。钻头选用合金材料,桩难以进入微风化岩,施工人员以施工操作为由擅自决定进入微风化岩 0.3 m,事后设计单位要求把合金钻头改成金刚石,结果桩顺利进入微风化岩 0.8 m。静荷载试验表明进入持力层过少的桩承载力未达到要求。

### 3.8 材料质量不过关

因材料质量低劣造成桩质量事故的事例屡见不鲜<sup>[19]</sup>。某工程采用锤击沉管灌注桩,桩尖混凝土质量较差,沉管过程中碰到较硬的土层桩尖被击碎而塞入桩管内。当拔管到一定高度后,在桩管强振下,桩尖下落而被孔壁卡住,施工时未采用反插措施使桩尖下有一定范围的孔洞,导致桩端无混凝土,形成吊脚桩。根据静荷载试验结果,这类桩端阻力基本没有发挥。某工程桩施工后进行低应变检测,检测发现局部区域部分桩波速异常慢,波速大致为 1900~2300 m/s,桩完整性较差,静荷载试验表明该类桩承载力也达不到要求。其他区域桩波速大致为 2800~3500 m/s,桩完整性好,静荷载试验表明该类桩承载力满足设计要求。记录表明该区域桩施工时采用河水,而附近有一个电镀车间,电镀水直接排放在河中。对河水检测,发现河水含有浓度较高的  $Mg^{2+}$ 、 $Na^{+}$ 、 $K^{+}$ ,开挖后发现混凝土疏松膨胀,龟裂挠曲。

### 3.9 施工后措施不当

桩基施工后不当措施导致桩基质量事故也有可能发生。某工程基础采用水泥搅拌桩,水泥搅拌桩施工处于雨季,该场地水位较高,基础施工完毕后未采取排水措施,致使水泥搅拌桩浸在水中,水泥土强度增长很慢,后来在主体结构结顶时建筑物已出现

倾斜。

### 3.10 施工管理不到位

施工管理不到位表现多个方面,如打桩记录不实、技术交底未实行、旁站监理未实施等<sup>[20]</sup>。

某厂房地基基础共打 450 根钢筋混凝土预制桩,由于施工单位对桩的贯入度记录不实,经检查发现 56 根桩并没有穿入持力层,136 根桩虽穿入持力层,但深度均小于设计的 50 cm 要求。静荷载试验表明桩承载力达不到设计要求。

某综合楼工程施工队伍素质差,桩施工是由施工单位层层转包,为赶进度,只计桩施工数量忽视质量,桩班组长既未研究过地质资料也不知道设计技术要求,只是按照总承包单位在场地上设置的桩位和要求的桩长施工。施工现场无监理人员检查施工质量。贯入度基本控制在 4.5~5 cm/10 击,离设计要求 1 cm/10 击距离较大,结果多数桩桩端未达到持力层。

### 3.11 施工未注意周围环境

施工时要重视周围环境状况,根据毗邻环境情况采取有效技术措施,调整施工方法,务必不能影响毗邻桩基及建筑物<sup>[21]</sup>。

某工程采用预应力管桩,离该工程 25 m 处有一个基础工程施工完毕时间不久。该毗邻建筑物基础采用水泥搅拌桩,静荷载试验表明水泥搅拌桩承载力达不到要求,开挖土后发现水泥搅拌桩在黏土与淤泥土交接部位大约 2 m 处出现断裂。分析认为:预应力管桩施工时未考虑到挤土效应对毗邻水泥搅拌桩的影响,施工顺序不合理(桩施工由远至近向水泥搅拌桩所在部位推进),也未采取释放孔、防震沟等防挤土措施,侧向附加应力挤断水泥搅拌桩,引发桩基质量事故。施工单位应重视工程经验的积累,采取有效的技术措施防范桩基施工质量通病。

## 4 结论

1)应严格按照有关规程、规范进行精心勘察、设计和施工。地质勘察单位要保证勘察深度和广度,设计单位在进行地基基础的选型及施工方案的确定时,应根据建筑场地的具体情况,在认真研究工程地质勘察报告的基础上,进行全面的综合分析。

2)文中列举了引起桩基事故的勘察方面、设计方面和施工方面的因素,但在多数情况下桩基事故是多种因素综合影响造成的,只有全面考虑才能杜绝桩基质量事故的发生。

## 参 考 文 献

- [1] GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S].
- [2] 王国盛.从软到硬突变土层采用管桩基础的施工质量控制[J].中国西部科技,2005(7):19-20.
- [3] 孔思丽,黄质宏,谢迎新.两例基础工程事故剖析[J].贵州工业大学学报(自然科学版),2002,31(6):56-59.
- [4] 祝联合.上海某工程桩基础事故的分析及处理[J].平顶山工学院学报,2005,14(2):71-73.
- [5] 柏傲冬,柏幸生.人工挖孔桩质量事故分析[J].工程质量,1999(3):45-46.
- [6] JGJ 94—94 建筑桩基技术规范[S].
- [7] 王 赫,胡明亮.关于桩基事故处理的若干问题与建议[J].建筑结构,1997,10(9):36-40.
- [8] 迟旭全.粉喷桩加固地基工程失败实例及分析[J].岩土工程技术,1988(1):35-40.
- [9] 袁从华,章 光.深层搅拌桩弥补钻孔灌注桩承载力不足的尝试[J].岩土力学,2003,24(6):1045-1048.
- [10] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [11] 王 敏.人工挖孔桩基础工程质量问题分析与处理[J].岩土工程学报,1998,20(2):63-65.
- [12] 尚继红.挖孔灌注桩基础下沉的加固处理[J].岩土工程技术,2000(2):122-124.
- [13] 罗大勇.钻孔灌注桩堵管事故的预防措施和处理方法[J].岩土工程技术,2002(8):364-367.
- [14] 陈 林.某钢铁厂综合楼桩基事故分析及加固处理[J].工业建筑,2000,30(9):75-77.
- [15] JGJ 4—80 工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [16] 张仲先,唐家祥,张辉庭,等.某 22 层建筑物桩基事故的处理[J].岩土工程技术,2000(4):238-241.
- [17] 薛秀珍.桩基础钻芯检验揭示的质量问题与灌浆补强处理[J].岩土工程技术,2002(6):368-371.
- [18] 马永琪.灌注桩混凝土水下浇注的工程事故预防及处理[J].岩土工程技术,1988(1):35-40.
- [19] 王 离.管桩基础质量事故的几个典型案例[J].混凝土与水泥制品,2006(5):26-30.
- [20] 周 虔.某工程断桩质量事故原因分析及处理[J].南方冶金学院学报,2003,24(6):102-102.
- [21] 高 翔.振动沉管灌注桩工程事故分析与处理[J].工程力学,1999,1(1):946-950.