

# 钻孔灌注桩施工监理的质量控制

邹俊勇

(嘉兴市中路交通设计监理咨询有限公司, 浙江嘉兴 314000)

**摘要:** 该文通过论述钻孔灌注桩施工监理质量控制要点, 介绍了钻孔桩各质量控制要素的检测方法, 并通过施工实例说明钻孔灌注桩常见质量事故的成因、预防措施和事故处理方法, 较完整地阐述了钻孔灌注桩整个施工过程的质量控制。

**关键词:** 钻孔灌注桩; 施工监理; 质量控制

**中图分类号:** U445 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-7716(2007)01-0074-05

## 0 前言

钻孔灌注桩作为结构工程最常见的深基础之一, 目前在桥梁等工程中应用普遍。由于钻孔灌注桩为隐蔽工程, 发生质量问题, 处理困难, 补救的成本很高, 有些甚至无法在原地进行补救, 故在施工过程中, 需严格执行相关规范和标准。监理工程师作为质量监控和把关的主体, 通过开工报告审批、原材料抽检, 钻孔桩施工过程中旁站、工序检查、验收等方式, 达到钻孔灌注桩质量控制的目的。

## 1 钻孔灌注桩施工工艺

钻孔灌注桩由于使用钻孔设备不同, 施工工艺流程也不一样, 现以冲击钻或回旋钻机成孔为例, 其主要施工工艺流程为: 桩位测量放样→场地准备(搭设钻孔平台)→护筒制作与埋设→泥浆制备→钻孔→清孔→检孔器检孔→插放钢筋笼→灌注水下混凝土→检测。

## 2 施工准备阶段监理控制

(1) 做好施工组织设计审核工作。

施工组织设计审核应重点指出工程的特殊性、施工方法等, 施工方案应控制钻孔机械设备是否适合地质需要, 投入设备能否保证施工进度需

要, 水中桩钻孔平台搭设是否符合安全要求。

(2) 测量定位控制。

要采取施工单位自检及监理人员复检、验收相结合的措施, 严格控制其偏差在设计或规范允许的范围内。在测量放线时, 应选用全站仪采用坐标定位法放样; 桩位测量后, 还要用钢尺与相邻的桩位进行校核, 看所测距离与计算值是否一致, 以杜绝错误的发生。

(3) 护筒埋设控制。

护筒内径一般应比设计直径大 20 ~ 40 cm, 护筒一般采用钢护筒, 护筒顶面应高出地面 30 cm, 高出施工水位 1.5 ~ 2.0 m。护筒进入河床深度应进行计算, 以防止底端穿孔向外漏水、漏浆或由护筒外向内翻砂而导致底脚悬空坍塌, 并防止灌注混凝土时由底端向外漏失混凝土。

(4) 泥浆控制。

泥浆有稳定和保护孔壁的作用, 它可使孔内钻渣呈悬浮状态, 有利于将钻渣排出孔外, 质量控制时, 主要控制泥浆的技术指标。

相对密度检测方法: 可用泥浆相对密度计测定, 若工地无泥浆相对密度计, 可用一口杯先称其质量为  $m_1$ , 再装满清水称其质量为  $m_2$ , 再倒去清水, 装满泥浆并擦去杯周溢出的泥浆, 称其质量为  $m_3$ , 则泥浆相对密度为  $(m_3 - m_1) / (m_2 - m_1)$ 。

粘度检测: 用工地标准漏斗粘度计测定, 用两端开口量杯分别量取 200 ml 和 500 ml 泥浆, 通过滤网滤去大砂粒后, 将泥浆 700 ml 均注入漏斗, 然后使泥浆从漏斗中流出, 流满 500 ml 量杯所需

收稿日期: 2006-08-14

作者简介: 邹俊勇(1972-), 男, 浙江武义人, 工程师, 从事公路桥梁工程咨询工作。

琐, 而且部分工序操作难度较大, 要求也高, 但是该类型桥梁可以提高简支梁桥跨越能力, 增大桥跨下通航净空(缩短引桥长度, 节省投资造价); 尤其是该桥梁较小的高跨比使桥梁建成后让人感觉轻巧美观。目前拉压双作用预应力混凝土简支梁在国内各个地区大力

推广, 具有很好的应用前景。

## 参考文献

- [1] 范立础. 桥梁工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 1980.
- [2] 贾金青. 桥梁工程设计计算方法及应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.



时间(s),即为所测泥浆的粘度。

静切力检测:工地上用浮筒切力计测定。

含砂率检测:工地可用含砂率计测定,把调好的泥浆 50 ml 倒进含砂率计,然后再倒进清水,将仪器口塞紧摇动 1 min,使泥浆与水混合均匀,再将仪器垂直静放 3 min,仪器下端沉淀物的体积乘 2 就是含砂率。

失水率检测:用一张 12 cm × 12 cm 的滤纸,置于水平玻璃板上,中央画一直径 3 cm 的圆,将 2 ml 的泥浆摊平的直径(mm),即为失水率。

#### (5)材料质量控制。

原材料质量直接关系到产品质量,在工程开工前,应对施工用钢材和混凝土用砂、碎石、水泥进行原材料试验,只有合格的材料方准投入使用,并对混凝土进行配合比试验,使混凝土满足强度和和易性要求。

### 3 施工过程质量监控

施工过程的质量监控是关键,应抓住其质量控制点,对影响施工质量的有关环节和施工参数进行严格控制。

#### 3.1 成孔过程质量监控

##### (1)孔深及清孔控制

孔底沉渣是影响桩承载能力的重要因素,水下灌注桩桩底沉渣厚度按设计值进行控制。钻孔结束后,监理人员应要求施工单位在进行一次清孔的同时必须不断地补充新鲜泥浆,将孔内含砂量大、性能差的泥浆置换出来;二次清孔时最好采用泵吸反循环清孔,若采用正循环清孔,要排出岩渣和泥团,须加大泥浆比重和粘度,且清孔的速度要慢。钻孔完毕后监理人员必须对终孔进行验收,并杜绝以超深来抵消孔底淤积。

孔深检测方法:孔深测量采用测绳测量。由于测绳在使用中精度会发生变化,故在每次检测前,先用钢尺校核测绳精度,再在钻孔平台上用测绳进行孔深测量,孔深以测绳不再下沉并不松弛为度,根据钻孔平台标高,计算出孔底标高,判断钻孔是否到位。

孔底沉渣厚度检测方法:比较简单的测量方法为钢测绳测量。在钻孔达到深度后及混凝土灌注前分别测量孔深,数值之差即为沉渣厚度;另一种采用沉渣筒测量,即在钻孔完成后,将沉渣筒沉在孔底,在混凝土灌注前提上沉渣筒,对筒内沉渣厚度进行测量。

清孔完成后的泥浆应达到的指标:泥浆相对密度 1.03~1.1;粘度 17~20,含砂率<2%,胶体率>

98%。

##### (2)坍塌控制

在砂性土等松散地基中钻孔时,常易发生塌孔,其迹象是孔内水位骤然降落,并冒细密的水泡,长时间内钻进深度很小,钻机负荷显著增加,甚至钻头运行不起来。

监理人员首先应认真审阅场地工程地质勘察报告,对地层情况做到心中有数;其次必须严格要求施工单位按规定埋设钢护筒,保证孔口排水良好,下设钢筋笼及升降机具要防止偏斜;再者,在特殊地层钻进应要求采用优质冲洗液护壁,同时也可采用正循环钻进、反循环排渣的作法来抑制不稳定段地层的坍塌;最后,在不稳定地层中,换浆不要过早,可在下完钢筋笼后进行二次清孔时替换掉高比重泥浆,并要督促施工单位及时灌注混凝土,减少沉渣时间,以保证桩身质量。

处理措施:当孔内发生坍孔时,摸清坍孔位置,然后用砂和粘土混合物回填至坍塌位置以上,并暂停一段时间,使回填土沉积密实,再继续钻进。严重的坍孔,应全部回填后再钻。

在嘉兴老 07 省道二合同东青龙桥桩基施工中,有一钻孔桩由于成孔时间较长,在离桩底 0.5 m 处,现细密水泡上冒,孔内水位降落不十分明显,确诊为小范围坍孔。鉴于钻孔已离桩底较近,孔位地表没有坍塌,决定采用加大泥浆比重护孔继续钻孔,并密切观测孔内变化,最终完成了该钻孔桩的施工。根据灌注混凝土的体积推算,成孔过程中确实发生了局部坍孔。

在 320 国道嘉兴市区过境段四合同顾家浜桥首根桩钻孔中,由于对地质情况掌握不够,施工人员思想不重视,没有按要求造浆,孔内泥浆比重过小,在钻到离桩底 5 m 处发生严重坍孔,事后采用石灰土回填孔位,静置 20 d 后按要求重新钻孔,顺利按设计桩位完成了该钻孔桩施工。

##### (3)扩径和缩径控制

扩径、缩径都是由于成孔直径不规则出现扩孔或缩孔及其它不良地质现象引起的。扩孔一般是由钻头振动过大、偏位或孔壁坍塌造成的,缩孔是由于钻头磨损过甚、焊接不及时或地层中有遇水膨胀的软土、粘土泥岩造成的。为避免扩径的出现,监理人员应检查钻机是否固定、平稳,要求减压钻进,防止钻头摆动或偏位,在成孔过程中还应要求徐徐钻进,以便形成良好的孔壁,要始终保持适当的泥浆比重和足够的孔内水位,清孔后应督促施工单位尽快灌注水下混凝土;为避免缩径的出现,钻孔前监理人员应详细了解地质



资料,判别有无遇水膨胀等不良地质条件的土层,如有应要求施工单位采用失水率 $<3\sim 5\text{ ml}/30\text{ min}$ 的优质泥浆进行护壁,经常对钻头的直径进行校正,钻头直径一般比所需成孔直径小 $20\sim 25\text{ mm}$ 为宜。

检测方法:采用检孔器进行检测缩径,检孔器采用较粗钢筋焊成圆笼状,其外径为桩的设计直径,长约直径的 $2\sim 4$ 倍,当检孔器不能沉至已钻的深度,说明存在缩孔问题。

处理办法:如由于钻头的直径太小引起缩孔,则校正钻头尺寸后重新钻孔,钻孔中控制钻孔速度,以免引起偏位;如由于遇地质原因引起缩孔,则采用加大泥浆比重,对局部进行修正处理。

#### (4) 钻孔倾斜度控制

钻孔开始前,应对桩机平台进行认真检测,检测钻盘四角标高,保证钻机平台水平,钻杆垂直,在钻孔中经常检查钻杆垂直度,并用检孔器吊入孔内检查,检孔器采用较粗钢筋焊成圆笼状,其外径为桩的设计直径,长约直径的 $4\sim 6$ 倍,当检孔器不能沉至已钻的深度,或发现钻杆倾斜、吊绳偏移护筒中心,应考虑发生斜孔。

倾斜度检测方法:检孔器顶用粗钢筋焊一十字架,钢丝绳系一端在十字架中间,另一端通过钻架顶部滑轮与卷扬机相连,钻架顶部滑轮投影为钻孔桩中心,在检孔器下沉过程中,测量钻机平台平面上钢丝绳相对钻孔中心的偏离距离,其数值与钻孔平台到钻架顶滑轮的距离之比值,即为倾斜度,其值不能大于 $1\%$ 。

处理措施:如遇探头石,应回填片石,用冲锥冲击探头石,或将钻架移向探头石一侧,用冲锥猛击,打掉探头石,然后恢复钻位;如遇倾斜的软硬交界层面,如倾斜的岩面上,回填 $30\sim 50\text{ cm}$ 厚的片石,然后冲击成孔;对于刚发现开始偏斜时,改换冲抓锥冲抓修直;当偏斜严重时,应回填至倾斜位置以上,待沉积密实后,再重新缓缓钻进。

#### (5) 埋钻、卡钻控制

埋钻通常是由于坍孔或钻锥冲进土层太深所致,应用空气吸泥机吹开埋钻的泥砂,再提出钻锥;卡钻是钻锥卡在钻孔内不能提起,遇此情况不得强行上提,以免掉钻或发生坍孔,应按不同情况采取相应措施:

a.冲击锥、冲抓锥的吊绳放得太松,致使钻头下落时倾斜,顶住孔壁,造成卡钻,可用打捞钩具勾住钻头,同时摆动吊绳,晃动钻头,待钻头松动后再将钻头吊起;

b.孔内探头石未凿除或因有杂物下坠而卡钻

时,此时可用钻头冲击障碍物,将其打碎或压进孔壁,也可冲击原钻头使其松动,然后吊起。

c.在冲孔过程中,锥头不转动,所成之孔形成梅花状,冲锥被卡在狭窄处,称为梅花孔卡钻,若锥头有向下活动余地时,可松落锥头,使冲锥转一个角度后再提起,有可能顺梅花孔提上来。

### 3.2 钢筋笼质量监控

(1)检查钢筋原材料是否合格,钢筋进货应有出厂质量证明单或试验报告单,每捆(盘)均应有标示牌,进场材料应按不同钢种、等级、牌号、规格及生产厂家分批验收,并按规定截取试样抽验,合格后方可使用。

(2)采购进场的钢筋,应进行力学性能及可焊性性能试验。进场后的钢筋每批(同品种、同等级、同一截面尺寸、同炉号同厂家生产的每 $60\text{ t}$ 为一批)内任选3根钢筋,各截取一组试样,每组3个试件,一个试件用于拉伸试验(屈服强度、抗拉强度及延伸率),一个试件用于冷弯试验,一个试件用于可焊性试验。如果有一个试件试验失败或不符合要求,另取两个试件再做试验。如果两个试件中有一个试验结果仍不符合要求,则该批钢筋不得接受。

(3)钢筋焊接接头的检验,钻孔灌注桩钢筋接头采用焊接连接,主筋的纵向焊接应优先采用闪光对焊,在下钢筋笼过程中,钢筋笼接长时无法采用闪光对焊,则采用电弧焊焊接。钢筋接头的检验,焊接前必须根据施工条件进行试焊,按不同的焊接方法至少抽取每组3个试样进行基本力学性能检验。

#### (4) 钢筋骨架制作偏差的检验

钻孔灌注桩主筋间距允许偏差 $20\text{ mm}$ ;箍筋间距允许偏差 $10\text{ mm}$ ;骨架外径允许偏差 $5\text{ mm}$ ,骨架保护层厚度允许偏差 $10\text{ mm}$ ;骨架长度允许偏差 $10\text{ mm}$ 。

检验方法:间距和尺寸采用钢尺测量,保护厚度采用在主筋上捆绑混凝土块控制。

### 3.3 灌注过程质量监控

#### (1) 混凝土配合比、坍落度控制

混凝土的坍落度是反映混凝土工作性的重要指标,一般应控制在 $18\sim 22\text{ cm}$ 范围内。骨料粒径以 $0.5\sim 3\text{ cm}$ 为宜,最大不超过 $4\text{ cm}$ ,以防卡管,含砂率宜用 $40\%\sim 50\%$ ,水灰比用 $0.5\sim 0.6$ ,每立方米混凝土的水泥用量不少于 $350\text{ kg}$ 。

混凝土拌和控制:在混凝土拌和前,根据天气变化,测定碎石、砂子的含水量,根据设计混凝土配合比计算施工混凝土配合比。配料的精确度为:



对水泥为 1.5%, 对砂子为 2%, 碎石为 3%, 水为 1%, 在混凝土拌制过程中每一根桩应检查 2 次。混凝土拌和时间为 1.5 ~ 2.0 min。

混凝土坍落度检测方法: 坍落度试验用标准坍落度圆锥筒测定, 以 mm 为单位 (精确至 5 mm)。进行坍落度试验时, 通过观察混凝土拌和物的坍落后的情况, 判断混凝土拌和物的粘聚性、保水性和含砂情况, 以便全面地评价混凝土拌和物的和易性。

试块制作: 对公路桥梁工程, 每根钻孔桩至少应制取 2 组, 桩长 20 m 以上者不少于 3 组, 桩径大、浇筑时间很长时, 不少于 4 组, 如换工作班时, 每工作班者应制取 2 组。

控制措施: 灌注水下混凝土前, 应检测孔底泥浆沉淀厚度, 如大于规定, 应再次清孔; 混凝土拌和物运到灌注地点时, 应检查其均匀性和坍落度, 如不符合要求, 应进行二次拌和, 二次拌和仍达不到要求的, 不得使用; 灌注水下混凝土的搅拌机能力, 应能满足桩孔在规定时间内灌注完成, 灌注时间不得长于首批混凝土初凝时间, 若估计灌注时间长于首批混凝土初凝时间, 则应掺入缓凝剂。

#### (2) 导管埋深控制

监理人员应要求施工单位在开浇时, 料斗必须储足一次下料能保证导管埋入混凝土达 1.0 m 以上的混凝土初灌量, 以免因导管下口未被埋入混凝土内造成管内反混浆现象, 导致浇灌失败; 在浇注过程中, 要经常探测混凝土面实际标高, 计算混凝土面上升高度、导管下口与混凝土面相对位置, 保持导管合理埋深, 导管埋深一般应控制在 2 ~ 6 m, 过大或过小都会出现不同形式的质量问题, 直接影响桩的质量。

检测方法: 通过测绳检测灌注混凝土顶面的标高, 减去导管底端标高进行计算, 导管底端标高采用清点拆除导管节数及长度进行计算。

混凝土灌注过程中, 通过记录灌注混凝土的体积 (即拌和混凝土的方量), 并测量混凝土灌注的高度, 分析桩的扩孔情况。

#### (3) 钢筋笼上浮控制

控制措施: a. 在钢筋笼上加压重物, 并在上端加焊 4 根较粗钢筋 ( $\phi 20$  以上) 固定在钢护筒顶部施工平台上; b. 当混凝土上升至钢筋笼底部附近时, 小步提升导管以保持较小的埋管深度 ( $\geq 1.5$  m), 并减缓混凝土的灌注速度。

检测方法: 在钢筋笼下沉到设计位置并固定后, 测取钢筋笼中十字相对的 4 根钢筋的顶标高,

在混凝土灌注过程中, 随时进行监测。

#### (4) 桩头质量控制

控制措施: 在混凝土灌注过程中, 特别是混凝土灌注到桩顶部时, 必须保证导管上口高度高出桩顶或孔内水位 4 ~ 6 m, 以形成混凝土压力, 使桩内混凝土在灌注过程中自然密实。

### 4 质量事故处理

#### 4.1 质量事故处理监理程序

当发现钻孔灌注桩工程出现质量缺陷或事故后, 监理人员首先应以“质量通知单”的形式通知施工单位; 其次, 尽快组织并参与质量事故的调查, 写出调查报告, 研究制订事故处理方案; 再者, 指令施工单位按既定的处理方案实施对质量缺陷的处理; 最后, 组织有关人员对处理的结果进行严格检查、鉴定和验收, 写出“质量事故处理报告”, 提交业主或建设单位, 并上报有关主管部门。

#### 4.2 质量事故处理

钻孔灌注桩施工应加强各个环节的控制, 尽量避免事故的发生, 一旦发生事故, 应迅速分析原因, 采取果断措施进行处理。下面就常见的易出现的施工质量事故进行原因分析且提出事故处理的具体办法。

##### 4.2.1 离析处理

离析是指钻孔灌注桩混凝土中的碎石、砂子、水泥等发生分离, 导致混凝土的强度降低, 严重的甚至会引起断桩。对离析程度较轻的二类桩, 可以不做处理; 离析程度较重严重的, 必须予以处理。根据离析的情况, 可采用钻孔压浆法, 如发生离析的部位离地面距离较近, 可采用凿除桩身混凝土, 再按立柱混凝土施工工艺进行桩身混凝土浇注处理。

##### 4.2.2 堵管处理

导管堵塞多发生在开始灌注或灌注过程中, 若初灌时发生堵塞现象, 应马上要求施工人员将导管提出, 将导管内的混凝土取出 (可采取反循环的方法将孔内的混凝土取出), 及时清除导管内混凝土, 并重新将导管下入孔底再次清孔, 经监理人员检查孔深并符合要求后重新灌注混凝土; 若深度不太大, 可用长杆冲捣; 若深度较大, 可在允许范围内反复提升导管插振; 插振无效, 应将导管拨起进行清理, 拨管后若灌注高度不大, 可重新钻进, 若灌注高度较长, 则将导管清理后, 重新插入混凝土内 2 ~ 3 m, 用水泵吸出导管内泥浆、浮浆后恢复灌注。

##### 4.2.3 断桩处理



断桩是钻孔灌注桩中最严重的质量事故,常见原因有:(1)灌注时间太长,表面混凝土失去流动性,继续浇灌的混凝土顶破表层而上升,将混有泥浆的表层覆盖包裹,就成断桩;(2)导管提升过多,当导管没有提离混凝土面,只是埋入太浅,则可能有泥浆混入,形成夹泥,如导管提离混凝土面,就成断桩;(3)当发生卡管拔出导管处理事故后,未将已灌注的混凝土彻底清除,就恢复灌注,也形成断桩;(4)测深不准或导管埋深计算错误,也会发生断桩。

处理措施:当断桩位置接近桩顶时,采用人工开挖,凿除灌注的混凝土到断桩位置以下,再按立柱混凝土施工工艺进行钻孔桩混凝土浇注;当断桩位于桩低附近而混凝土灌注高度不高且混凝土龄期较短时,可采用潜水员下水割除钢筋笼后用冲击钻重新成孔后再灌注混凝土;如果用上述方法无法进行补救,则采用补桩进行处理。

在浙江杭(州)千(岛湖)高速公路二合同周浦港特大桥施工中,有一根钻孔桩在混凝土灌注大约 10 m 高时,混凝土搅拌机发生故障,现场施工人员没有及时汇报和正确处理,最终导致混凝土灌注中断时间过长,先前灌注的混凝土发生硬化,形成潜在断桩。为满足钻孔桩质量要求,采取让潜水员到桩底混凝土面水下割断钢筋笼,取出钢筋笼后用冲击钻将已灌的混凝土钻掉,再按正常钻孔桩完成施工。

在浙江 56 省道瑞安段二标一钻孔桩经动测检测,发现在距地面 6 m 左右发生断桩,后采用钢护筒围护下挖凿除断桩以上部位桩身,再用钢模立模按立柱施工方法完成接桩。

在浙江杭(州)甬(宁波)高速公路四合同百松河大桥桩基施工中,经检测,有一钻孔桩在距地面 40 余米处发生断桩,由于在原位处理困难,后经设计单位同意采取在设计桩位两侧补二根钻孔桩,在二根桩顶设承台的办法进行补救处理。

## 5 质量检测

### 5.1 成桩完毕后质量检测的监理程序

(1)检测桩位偏差是否满足设计与规范要求;(2)随机无破损检测或钻探取芯试验结果是否满足设计与规范要求,并旁站对桩基质量检测的其它检测过程;(3)检查试块混凝土强度是否满足设

计与质量评定标准;(4)分项工程完工验收。

### 5.2 质量检测

目前检测钻孔灌注桩合格与否的方法有静荷载试验、动测法和取芯法,实际应用时常选用上述 1~2 种,把静荷载法和动测法结合起来较为合理。

对中、小桥工程,选有代表性的桩或重要部位的桩进行无破损检测,对大桥工程的钻孔桩,应逐根进行无破损检测。如按设计规定监理工程师对桩的质量有疑问时,或在施工中遇到有异常情况,说明桩的质量可能低于要求的标准时,应采用钻取芯样法对桩进行检测,钻芯检验结果不合格,则应视为废桩。

其他工程按设计规定进行检测,如设计无规定,则可参照《基桩低应变动力检测规程》(JGJ/T 93-95)规定进行检测:检测混凝土灌注桩桩身完整性时,抽测数不得少于该批桩总数的 20%,且不得少于 10 根;检测混凝土灌注桩承载力时,抽测数不得少于该批桩总数的 10%,且不得少于 5 根。

当抽测不合格的桩数超过抽测数的 30%时,应加倍重新抽测。加倍抽测后,若不合格桩数仍超过抽测数的 30%,应全数检测。对于采用声波透射法时,加倍重新抽测可采用其他检测方法。

## 6 结语

监理工程师在钻孔灌注桩施工中扮演重要角色,一方面钻孔灌注桩施工本身具有较强的技术性,在施工过程中,监理人员对其质量控制需要丰富的理论知识和实践经验进行判断;另一方面,钻孔灌注桩施工是一个连续的过程,没有特殊原因决不能中途停顿。这就要求监理人员抓好事先指导,注重预防控制,强化施工准备、成孔、清孔、水下混凝土灌注等施工全过程中各环节的质量监控。同时,应具有良好的职业道德,做到严格监理,热情服务,做好现场旁站和检验确认。

### 参考资料

- [1]JTG F80/1-2004,公路工程质量检验评定标准[S].
- [2]JTJ 041-2000,公路桥涵施工技术规范[S].
- [3]胡大琳.桥涵工程试验检测技术[M].北京:人民交通出版社,2002.