

钻孔灌注桩施工中埋管断桩事故原因分析及防治

黄志强,任鸿飞,胡书礼,郝玉昭

(河南省有色金属地质矿产局第六地质大队,河南 洛阳 471002)

摘要:从人、机、料、法、环 5 个方面分析埋管事故发生的原因,对导管受力进行了分析。混凝土流动性是导致埋管事故发生的主要原因,严格控制导管埋深是预防埋管事故的主要方法,“勤测、勤提、勤拆”是控制埋深的基本原则,“快”是灌注操作的核心。

关键词:钻孔灌注桩;埋管;断桩

中图分类号:TU473.1⁺4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2008)02-0037-04

Accident Causes Analysis and Prevention on Conduit-embedded and Pile-broken in Bored Cast-in-place Pile Construction/HUANG Zhi-qiang, REN Hong-fei, HU Shu-li, HAO Yu-zhao (No.6 Geological Brigade for Henan Nonferrous Metals, Luoyang Henan 471002, China)

Abstract: Analysis was made in manpower, instrument, material, regulation and environment on conduit-embedded accident. The paper also analyzed the stress condition of conduits. Mobility of concrete is the main cause of conduit-embedded accident that can be effectively prevented by strict control on buried depth of conduits. The frequent depth measuring, pulling-up and disassembling for conduits are the basic principle in the control on buried depth, and ‘swiftness’ is the key point in perfusion.

Key words: bored cast-in-place pile; conduit-embedded; pile broken

钻孔灌注桩以其工艺简单、技术成熟、适用面广、质量稳定、造价适中等特点,成为现在众多建筑物的首选基础类型。由于管理水平和人员素质的差异,桩基工程施工中发生质量问题的概率一直较高。钻孔灌注桩施工中易出现的事故主要有以下几种:孔壁坍塌,桩孔偏斜,初灌不畅、堵管,导管进水,埋管事故,桩身缩颈、夹层、断桩,钢筋笼上浮、掉笼,桩顶标高误差等。其中埋管事故因其后果严重、处理复杂、损失较高,成为钻孔灌注桩施工事故的重中之重,深受广大工程技术人员的关注。因此要了解和析造成埋管断桩事故的成因机理,在施工中做好各项预防措施,尽量减少和避免事故的发生。笔者从人、机、料、法、环 5 个方面分析埋管事故的原因,对导管的受力进行了分析,提出了“三勤”的预防原则。

1 埋管事故原因分析

埋管事故就是指在进行混凝土灌注过程中,由于各种原因致使导管拔不出,造成灌注中断的情况,其直接后果是导致断桩。

造成钻孔灌注桩埋管事故的原因很多,归纳起来主要有以下 5 方面的因素。

1.1 人为因素

人为因素在钻孔灌注桩事故产生中起着主导作用。据笔者多年施工经验,有 80% 以上的事故是人为造成的,这也恰恰说明事故是可以预防和避免的。

1.1.1 人员素质

随着建筑规模的逐渐扩大,人力资源日趋紧张。为了控制成本,获取较大的经济效益,专业技术人员往往要从事更为重要、繁忙的工作,于是大批未经过技术培训和无熟练经验的工人被推上技术含量自认为不是太高的水下混凝土灌注施工岗位。责任心不强、懒惰麻痹思想往往是造成事故的主要原因。不及时测量混凝土埋深、计算有误、不及时提拔导管是施工中的通病,于是事故在所难免。

1.1.2 管理水平

钻孔灌注桩施工工序繁多,需要各工种、各环节通力配合,密切协作方能确保成桩质量。在实际施工中往往缺少专人协调和指挥并严格把关。施工不

收稿日期:2007-10-06

作者简介:黄志强(1971-),男(汉族),河南新安人,河南省有色金属地质矿产局第六地质大队注册土木(岩土)工程师,水文地质与工程地质专业,工程硕士,从事岩土工程勘察、设计与施工及矿山水工环地质工作,河南省洛阳市中州东路付 50 号, hzq654321@163.com;任鸿飞(1971-),男(汉族),河南西平人,河南省有色金属地质矿产局第六地质大队工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计与施工及矿山水工环地质工作;胡书礼(1966-),男(汉族),河南泌阳人,河南省有色金属地质矿产局第六地质大队工程师,水文地质与工程地质专业,从事岩土工程勘察、设计与施工及矿山水工环地质工作, hushuli333@163.com。

连续、人为延长灌注时间、耽误起拔导管时机、质量不合格的混凝土灌入孔内等很容易导致埋管事故发生。

1.2 机械原因

机械对灌注施工的影响是显而易见的。导管不合格(漏气、漏水、不通顺、不光滑、变形、直径不匹配);起拔设备配置不合理、带病工作;起吊设备过小、损坏;搅拌设备能力不够、设备故障等都会影响灌注顺利进行,一旦中断、处理不及时、方法不当,就有可能造成埋管事故。

1.3 混凝土原因

水下灌注桩使用的混凝土是靠自身的流动和自然塌落而密实的,因此具有特殊的要求。根据规范^[1],水下混凝土坍落度宜为 18~22 cm,在满足强度要求的前提下,应尽可能提高混凝土的流动性与和易性。混凝土质量的优劣,对桩的灌注起关键作用。由于混凝土质量问题而发生埋管现象在施工中屡见不鲜,其原因归结如下:(1)混凝土中含有块石、铁丝或其他杂物堵塞导管;(2)混凝土未充分拌合,夹有干硬的生料而堵塞导管;(3)混凝土离析堵塞导管;(4)砂率过小或砂粒径过大,混凝土流动性差;(5)塌落度过小,混凝土干稠而失去流动性;(6)初凝时间过短,或运输、灌注时间过长导致混凝土假凝。

1.4 施工方法

钻孔灌注桩是在地下或水下进行的,属于隐蔽工程,影响其质量的环节多、因素多,必须严格按照操作规程施工,方能避免质量事故的发生。成孔质量、二次清孔、安放钢筋笼、导管埋深、导管起拔等均是易产生埋管事故的关键因素,操作不当便会导致埋管断桩,造成较大的损失。

1.4.1 成孔质量

成孔是灌注桩施工的基础,其质量优劣是埋管事故是否产生的先决条件。成孔时泥浆护壁差,灌注过程中易受到外来应力的扰动而造成塌孔,坍塌的块体卡在钢筋笼、导管与孔壁之间而埋管;孔斜超标,导管与钢筋笼之间环状间隙过小卡管,无法摆脱而埋管;孔壁不完整易引起钢筋笼变形而造成埋管事故的发生。

1.4.2 二次清孔

二次清孔是钻孔灌注桩必不可少的关键环节,也易成为埋管事故的诱发因素。泥浆密度过大,含砂率过高,孔底沉渣过厚,会增加导管侧壁的摩擦力而埋管,从而造成质量事故。

1.4.3 制作与安放钢筋笼

钢筋笼制作中直径不合规范、焊接质量不合格、运输过程中摔碰、安放过程中强力墩压等易引起钢筋笼变形,而导致埋管事故的发生。另外,钢筋笼加强筋设置在内侧阻碍导管提升,也会导致埋管事故的发生。

1.4.4 导管埋深

导管埋深过大是埋管事故产生的最普遍的原因。规范要求水下灌注桩导管埋深宜在 2~6 m,决不能大于 8 m,否则就容易产生埋管事故。

1.4.5 导管起拔

因各种原因长时间不上下活动导管,而使混凝土初凝或假凝而抱裹住导管,操作不当、过猛提拔导管不慎钩挂钢筋笼而又未及时刹车,造成导管无法提拔等,都会形成埋管事故。

1.5 环境因素

环境因素对埋管事故的发生影响也是很大的。工地突然停电而无应急措施、下雨无法正常施工、雷电无法使用吊车提拔导管、重大自然灾害造成施工中断等都有可能发生埋管事故。在洛栾快速路顺阳河桥施工一根桩时,突遇雷雨,无法使用吊车活动起拔导管,又无别的应急措施,2 h 后雨停时导管已无法提拔,造成埋管断桩,直接损失 20 万元。由此可知,环境因素对埋管事故的影响是很大的,应采取必要的预防措施。

2 导管受力分析与讨论

2.1 导管受力分析

导管在钻孔中主要受到起吊设备的提升力 T (向上)、导管自身重力 G_1 、导管和料斗存满混凝土的重力 G_2 、混凝土和泥浆对其的浮力 F (向上)、混凝土对其的摩擦力 f (向下,包括导管连接处法兰或螺纹接手阻力),此外还可能受到钢筋笼内环筋的阻力 C (向下),见图 1。

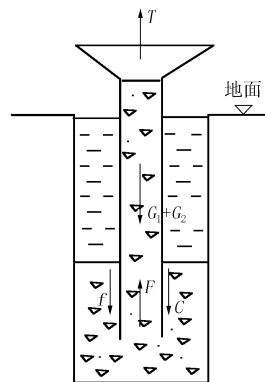


图 1 导管受力分析

导管要能起拔必须满足:

$$T + F \geq G_1 + G_2 + f + C \quad (1)$$

$$\text{或} \quad T \geq G_1 + G_2 + f + C - F \quad (2)$$

T 的最大值等于起吊设备的最大起吊能力;导管自身重力 G_1 与每次灌注所下的导管长度有关,根据规范规定^[1],首灌时导管底端距孔底宜为 300 ~ 500 mm,首灌时导管最长,此时导管自身重力 G_1 最大。料斗存满混凝土的重力 G_2 为导管内混凝土不能排出时所存的混凝土,为最不利的情况。混凝土和泥浆对其的浮力 F 与混凝土的埋深、导管的长度有关。钢筋笼内环加强筋的阻力 C 的情况是偶然因素。

混凝土对其的摩擦力 f ,是由于流体的粘性作用而产生的一种力。由流体力学^[2]知,流体内部流层之间存在有切向力(即内摩擦力),其表现为粘性,流体要流动就必须克服此种力。该力与流动速度有关,在导管与孔壁之间存在流体层里,一般呈线性分布(见图 2),其计算公式为:

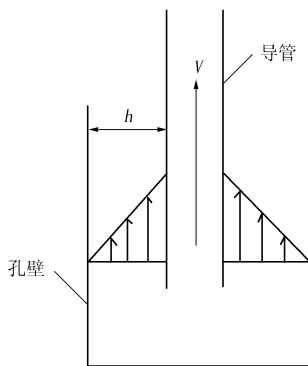


图 2 混凝土对导管摩擦力 f 分布

$$f = \pi d L_1 \mu_1 V / h + \pi d L_2 \mu_2 V / h \\ = \pi d V (L_1 \mu_1 + L_2 \mu_2) / h \quad (3)$$

式中: d ——导管直径,m; L_1 ——导管在混凝土中的长度,m; L_2 ——导管在泥浆中的长度,m; μ_1 、 μ_2 ——混凝土、泥浆的粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; V ——导管的起拔速度, m/s ; h ——导管外壁与孔壁的距离,m。

2.2 摩擦力 f 讨论

灌注初期,混凝土流动性较好,混凝土与泥浆的粘度 μ 比较小,流动性混凝土一般为 $20 \sim 30 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ^[3],泥浆的粘度更小,一般为 $(1.3 \sim 2.0) \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$,通过计算, f 值一般小于 100 N ,对导管所需起吊力来说微不足道。但是,随着时间的持续,混凝土流动性损失越来越大。其主要原因是混凝土中水泥熟料矿物(如硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙)发生水化反应生成氢氧化钙、水化硅酸钙、

水化硫铝酸钙和水化铁铝酸钙等,需要大量的水,水是决定混凝土流动性的主要因素。经过 $1 \sim 3 \text{ h}$ 后(灌注中后期),混凝土要发生初凝,这样 f 值增长很快。

下面举一个例子来说明摩擦力 f 的作用。

钻孔灌注桩桩径 1.5 m ,孔深 40 m ,导管长度 40 m ,管径 300 mm ,壁厚 5 mm ,每米质量约 50 kg ,导管中混凝土容重 24 kN/m^3 ,埋管事故一般发生在灌注时间一半以后,取导管长度 20 m 计算。

$$G_1 = 20 \text{ kN}, G_2 = 34 \text{ kN}, F = 25 \text{ kN}$$

目前,国内外文献对丧失流动性混凝土的极限侧壁摩擦力没有确切数据,灌注中后期摩擦力 f 的计算可按最不利情况类比处理。把流动性较差、可能发生假凝的混凝土看成中砂、卵石,导管看作为一根桩的受力状态,导管向上提拔相当于管桩向上提拔,混凝土埋深按 6 m 计,泥浆的摩擦力可忽略不计,只计算在混凝土中所受的极限侧壁摩擦力 q_{sik} ^[1]。中砂取 70 kPa ,卵石取 120 kPa 。按桩的竖向承载力公式计算。

$$\text{中砂: } f = \pi d L_1 q_{sik} = \pi \times 0.3 \times 6 \times 70 = 396 \text{ kN}.$$

$$\text{卵石: } f = \pi d L_1 q_{sik} = \pi \times 0.3 \times 6 \times 120 = 679 \text{ kN}.$$

不考虑阻力 C 的情况下,导管在埋深 6 m 的情况下,所需起吊提升力:

$$\text{中砂 } T = 20.0 + 34.0 + 396 - 25.2 = 425 \text{ kN}.$$

$$\text{卵石 } T = 20.0 + 34.0 + 679 - 25.2 = 708 \text{ kN}.$$

大大超过了现场设备的最大起吊能力。计算结果说明混凝土在流动性较差、埋深大于 6 m 的情况下,提升导管是非常困难的。假定现场设备的最大起吊能力为 20 t (合 200 kN),其它不变,反求导管埋深得:中砂 $L_1 = 2.59 \text{ m}$,卵石 $L_1 = 1.51 \text{ m}$ 。说明混凝土在流动性较差情况下,埋深要小一些较为合理。

2.3 导管挂笼阻力 C 讨论

考虑导管挂笼阻力 C 的情况,举例说明。在三门峡电业局电力负荷中心大楼工地,钻孔灌注桩深 45 m ,桩径 800 mm ,在灌注 75 号桩 20 m 处时,由于混凝土面量测失误,致使导管埋深达 10.8 m ,使用 2 台吊车 400 kN 力也未能拔出,在其拔前,混凝土灌注正常,推测为导管挂笼,由于埋深较大,采用平常旋转导管的方法无法使导管解脱,最终酿成断桩事故。按以上公式推算阻力 C 远大于 400 kN 。

综上所述,导管埋深过大的确能使导管不能正常起拔,把最大埋深控制在 6 m 以内,是有一定理论依据的。灌注初期,由于混凝土流动性好,摩擦力 f 可忽略不计,起吊设备的提升力 T 约 $30 \sim 50 \text{ kN}$,一

般情况下,不存在起拔问题,故很少发生埋管事故。在灌注中后期,由于混凝土流动性越来越差,摩擦力 f 值增长很快,成了提升力 T 增加的主要因素,最终导致起拔导管困难。此外导管挂笼阻力 C 在某种情况下也会成为起拔困难的主要因素。

3 埋管事故预防措施

通过以上分析,混凝土流动性是客观的,加缓凝剂仅仅能延缓混凝土的凝固,对于灌注时间较长的钻孔,严格控制埋深是预防埋管事故的主要方法。埋深小,即便是出现流动性差和导管挂笼问题,也好处理;埋深过大导致处理问题的难度也大大增加。因此,埋管事故人为因素占主导作用,只要认真负责,操作合理,管理科学,措施得当,事故是可以预防和避免的。根据10余年钻孔灌注桩施工经验,总结出预防埋管事故的基本原则是:勤测、勤提、勤拆。

3.1 勤测

就是及时测量混凝土上升高度,准确计算导管埋入深度,严格控制导管埋深在2~6m之间。这一点决不能有丝毫懈怠,决不要存在侥幸心理,在大直径超深孔的灌注桩施工中要特别注意。勤测就是要时刻知道混凝土上顶面在孔中的位置,这是因为每次量测不一定能测到砼面,这种现象在小口径钻孔桩较为常见。在此过程中可以通过混凝土上升速度了解孔内是否存在塌孔、缩颈、扩径等异常情况,以便采取相应的措施,指导下部上料、导管提拔、拆卸工作,加快灌注速度,预防事故发生。

具体措施:(1)测绳要准备好,测绳上标签在使用中常会发生位移,这需要经常校核;测绳在使用中常会挂到笼上,致使测量中断,在现场备用一条测绳是十分必要的;(2)在灌注中要密切灌注孔口的返水情况,正常情况是混凝土在导管中流动常会发出扑通的连续声响,孔口没有返水说明导管中的混凝土没有下完,这时必须要量测混凝土,确定是否可以起拔导管。

3.2 勤提

即经常活动导管,避免抱管、卡管、堵管现象发生。在灌注过程中,难免会出现混凝土不能连续送达的情况。一旦出现也可通过上下提插、转动导管

等措施防止埋管事故发生。由于钻孔灌注桩正朝着大口径、大孔深、大灌注量发展,施工时间相对延长,混凝土可能会出现初(假)凝现象,及时活动导管就能避免混凝土与导管的粘连。这一点在灌注后期非常重要。在导管最后拔出后,经常会发现埋入砼中的导管壁上有许多粘连的混凝土,这就是混凝土的初(假)凝现象,灌注时间长的导管其现象尤甚。

3.3 勤拆

就是要及时拆除导管。一方面可以确保导管埋深控制在2~6m,另一方面也有利于混凝土顺利灌入,减少灌注的延续时间,以预防埋管发生。由于灌注量发展趋势是越来越大,施工中多采用混凝土输送车以提高灌注速度,及时拆除导管也显得越来越重要,在达到埋深要求的情况下要干脆果断拆管,切忌麻痹懒惰和侥幸心理。若不予拆除,继续下料,一味贪图灌注速度,往往会导致埋管事故的发生,这种例子不胜枚举。

总之,勤测是前提、勤提是手段、勤拆是结果。三者紧密结合起来,“快”字是核心,尽量在混凝土初凝前浇注完毕。严格按操作规程施工,严格控制导管埋深,采取必要的预防机械损坏、自然因素的措施,再加上科学的管理、熟练高质的人员,埋管事故就一定可以避免,就能取得良好的社会效益。

4 结语

灌注是钻孔灌注桩施工最后关键工序。许多在前面工序中未能解决的问题,在成桩过程中都会有所反映。尽量降低埋管风险,是灌注操作的重中之重。在灌注中后期,混凝土流动性越来越差是导致埋管事故的最主要直接原因。对于灌注时间较长的钻孔,严格控制导管埋深是预防埋管事故的主要方法。“勤测、勤提、勤拆”是控制埋深的基本原则,“快”字是灌注操作的核心。

参考文献:

- [1] JGJ 94-94,建筑桩基技术规范[S].
- [2] 刘鹤年. 水力学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001.
- [3] 冯士明. 冰岛混凝土流变性研究简介及思考[J]. 混凝土, 2001,(3):26-29.