

岩心钻探水下灌注水泥方法探讨

钱书伟, 王如春

(贵州泰和钻探工程有限责任公司, 贵州 贵阳 550005)

摘要:在岩心钻探中,常常要用水下灌注水泥的方法来护壁、堵漏、封孔、处理井故。对水下灌注的方法和步骤进行了探讨,对水下灌注失败和事故的原因进行了分析,并提出了相应的解决办法。

关键词:岩心钻探;水下灌注水泥;护壁堵漏;封孔

中图分类号:P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)01-0018-04

Discussion on Under-water Cement Grouting for Coring Drilling/QIAN Shu-wei, WANG Ru-chun (Guizhou Taihe Drilling Engineering Co., Ltd., Guiyang Guizhou 550005, China)

Abstract: In coring drilling, under-water cement grouting was often used for wall protection, leakage blocking, borehole sealing and downhole accident treatment. The paper discussed the technology and the procedures, analyzed the causes of grouting failure and put forward the solutions.

Key words: coring drilling; cement grouting under water; wall protection and leakage blocking; borehole sealing

1 概述

在岩心钻探中,常常要用水下灌注水泥的方法来护壁、堵漏、封孔、处理井故,但因机台施工人员对水下灌注的原理及操作缺乏应有的认识,往往导致灌注失败,甚至发生灌水泥事故。笔者近两年来已接触了3起灌水泥事故,灌水泥失败的情况就更多了。灌注失败有些是由于地下水流动造成的,若地下水流速太快,水泥浆在凝固之前就会被地下水稀释或带走;有些是替水量差异太大,水泥浆没有到达预定孔段造成的。而灌水泥事故往往是替水量失准和操作不当共同作用的结果,或是灌注时间超过水泥的初凝时间造成的。笔者总结了多年的实践经验,对水下灌注的原理及操作步骤进行研究和探讨。

2 水下灌注的原理及方法探讨

2.1 原理

水下灌注是在地下水位较高的钻孔中局部注浆的方法,它用水泵通过灌浆管,借助替水将水泥浆送到孔底(若在孔段中注浆,需在预灌段下部架桥),然后提出灌浆管,待凝。水下灌注必须考虑2个压力平衡,一个是灌浆管内外的压力平衡,另一个是钻孔内外的压力平衡。灌注过程中(提灌浆管之前)考虑第一个平衡,把孔内的水和地下水看成一个整体;而提灌浆管的过程中及提灌浆管后考虑第二个平衡,把灌浆管内的液体和钻孔中的液体看成一个

整体。

2.2 步骤及计算

水下灌注是个置换的过程,必须掌握压力平衡原理(连通原理),并用压力平衡原理进行各项计算后,按部就班地操作才能取得满意的结果。

笔者根据多年的实践及研究,根据联通原理,总结水下灌注的步骤及计算如下。

(1)确定要灌注的孔段及段长 h 。灌注段长要考虑安全系数,一般要增加5~10 m,或上下各5~10 m。若要灌注的孔段不在钻孔底部,需在灌注段下部架桥,架桥位置应低于灌注部位1~2 m。

(2)测定静止水位 h_0 。静止水位是计算替水量和补充水量的关键数据,必须测量准确。

(3)计算水泥用量:

$$M = 50kh/L_0$$

$$L_0 = (16.13 + 50m)/(7.85D^2)$$

式中: M ——水泥用量,kg; h ——钻孔注水泥高度,m; L_0 ——每袋(50 kg)水泥封堵的理论长度,m,(水泥的密度为 3.1 g/cm^3 ,水的密度为1); m ——水灰比; D ——钻孔计算直径,dm; k ——系数, $k = 1.30 \sim 1.90$,视孔壁情况而定。

(4)计算替水量:

$$Q = (H - h_0 - h)q + Q_1$$

式中: Q ——替水量,L; H ——地面以下灌浆管长度,m; h_0 ——孔内静水位距孔口距离,m; h ——预计水

收稿日期:2008-07-25

作者简介:钱书伟(1965-),男(汉族),湖南邵阳人,贵州泰和钻探工程有限责任公司副总经理、总工程师、高级工程师,探矿工程专业,从事岩心钻探技术工作,贵州省贵阳市宝山南路564号贵州有色地质勘查局,xtqsw@sohu.com。

泥浆返回高度即灌注段长, m ; Q_1 ——地面管线容积, 大口径 50 ~ 60 L, 小口径 40 ~ 50 L; q ——每米灌浆管容积, L/m; $(H - h_0 - h)$ ——静水位至预计水泥面间的灌浆管长度。

替水可以用容器装好(小量), 也可根据泵量转换成泵送时间。若要转换成泵送时间, 应先校验泵量。

(5) 计算灌注时间:

从开始搅拌水泥至灌完浆后灌浆管提出水泥面这段时间称为灌注时间。

灌注时间 t = 水泥的搅拌时间 t_1 + 送水泥浆的时间 t_2 + 送替水的时间 t_3 + 待替水到位的时间 t_4 + 提灌浆管出水泥面的时间 t_5 。

水泥的搅拌时间一般控制在 5 ~ 10 min。

送水泥浆和替水的时间按以下公式计算:

$$t_{2,3} = Q/q$$

式中: Q ——水泥浆量或替水量, L; q ——水泵流量, L/min。

待替水到位的时间一般按 0.5 ~ 1 min 算。

提灌浆管出水泥面的时间根据平时的提钻速度及水泥浆高度确定。

灌注时间应小于水泥的初凝时间, 即灌浆管在水泥浆初凝之前必须提出水泥浆面, 并留有余地, 否则, 灌浆管会被水泥凝住而发生灌水泥事故。普通水泥的初凝时间一般按 45 min 计算, 若计算的灌注时间超过水泥的初凝时间, 应加缓凝剂, 或采取分步灌浆的办法。

(6) 计算静水位以下灌浆管的体积:

$$V = (H - h_0)(d^2 - d_1^2)\pi/4$$

式中: V ——灌浆管体积, L; d ——灌浆管外径, dm; d_1 ——灌浆管内径, dm。

(7) 下灌浆管到孔底, 冲洗完孔底后提离孔底 200 mm。

(8) 搅浆, 做好其他准备工作。

(9) 注浆, 送替水。

(10) 送完替水后, 等待 1 ~ 2 min, 提灌浆管。灌浆管提到静水位以上 5 ~ 10 m 后往孔口补充灌浆管的排水量 V , 再把灌浆管全部提出孔外。

(11) 清洗水泵、注浆管, 待凝。

在以往关于水下灌注的文献中, 没有计算静水位以下灌浆管的体积 V (即灌浆管的排量) 并在提出灌浆管后补充这部分水的说法。笔者认为, 在钻孔孔深较大, 静水位以下灌浆管的长度较长的情况下, V 值会很大。提出灌浆管后若不补充这部分水, 因

孔内水位降低, 液柱压力降低, 地下水会通过与钻孔间的水力通道(一般在灌注部位)进入孔内, 稀释水泥浆, 并推动水泥浆上移, 在灌注部位留下稀释的水泥浆甚至清水, 造成灌注失败。

通过下面的计算可以说明这个问题。

假设孔深 500 m、静水位 100 m、孔底灌注长度 50 m、钻孔直径 96 mm、灌浆管用 S71 绳索取心钻杆:

$$H = 500 \text{ m} = 5000 \text{ dm}, h_0 = 100 \text{ m} = 1000 \text{ dm}, d = 96 \text{ mm} = 0.96 \text{ dm}, d_1 = 60 \text{ mm} = 0.6 \text{ dm}$$

水下钻杆的容积为:

$$\begin{aligned} V &= (H - h_0)(d^2 - d_1^2)\pi/4 \\ &= (5000 - 1000)(0.96^2 - 0.6^2)\pi/4 \\ &= 452.5 \text{ L} \end{aligned}$$

钻孔每米容积为:

$$V_1 = 10 \times 0.96^2 \pi/4 = 7.2 \text{ L/m}$$

$$V/V_1 = 452.5/7.2 = 62.8 \text{ m}$$

即提出钻杆后, 地下水会把水泥浆往上推移 62.8 m, 原灌注部位就没有水泥浆了。可见, 灌浆管排量的影响是很大的。

在以前的资料中, 灌浆管提出水泥面 10 ~ 15 m 后即送水清洗灌浆管。笔者认为这种做法也是错误的。一方面, 提灌浆管的过程中灌浆管已被替水及补充水清洗, 无需再送水清洗。另一方面, 清洗灌浆管的水会打破钻孔内外的压力平衡, 将水泥浆往下压, 改变水泥的位置, 甚至把水泥浆全部排出孔外, 导致灌注失败。

3 水下灌注失败及事故的原因分析与解决办法

3.1 水下灌注水泥失败的原因及解决办法

水下灌注水泥失败的原因大致有以下几点:

(1) 静止水位测量不准导致替水量计算不准, 有的甚至没有测静止水位, 当然也就无所谓计算替水量。

解决办法: 在进行灌注之前必须测静止水位, 并根据静止水位确定灌注方法(若静止水位离孔底很近, 则可用其他灌注方法)、计算替水量、灌浆管排水量。

(2) 替水量计算错误或转换成水泵送水时间时计算错误, 导致送入孔内的替水量多了或少了。

替水量是水下灌注的一个最重要的数据, 替水量多或少都会导致灌注失败。

水下灌注是个置换过程, 根据连通原理, 水泥浆及替水在孔内的理想状态应当是(参见图 1): 当水

泥浆绕过灌浆管底部往上返到与管内的水泥浆面一样高时,管内替水的液面刚好与管外的水面(即静止水位)相平,这样灌浆管内外的液柱压力达到平衡。

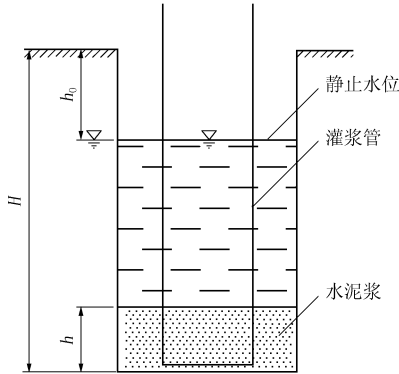


图 1 钻孔水下灌注示意图

若替水多了(参见图 2),水泥浆要继续往上返,管外的水泥浆高于管内的水泥浆,当提出灌浆管后,高出的水泥浆就会与管内替水混合而被稀释。若替水多很多,水泥浆返到很高的位置,灌注部位则是水。提出灌浆管后,替水与水泥浆混合,水灰比增大,凝固时间变长。

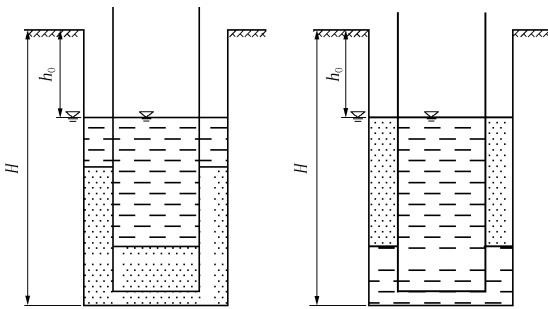


图 2 替水量多的灌后情形示意图

若是替水少了(参见图 3),一方面水泥浆到不了灌注部位,另一方面,提出灌浆管后管内的水泥浆会与管外的水混合,水灰比增大,凝固时间变长。

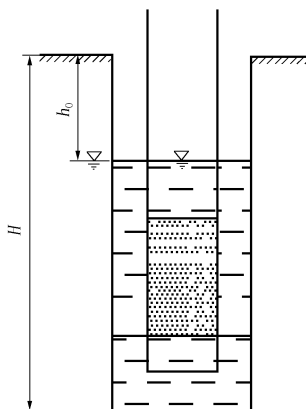


图 3 替水量少的灌后情形示意图

所以,无论是替水太多或太少,都会带来 2 个同样的结果:一是水泥浆部分或全部不到灌注部位,若灌注部位水泥浆太少甚至没有,会导致灌注失败;二是水泥浆被稀释,凝固时间延长,甚至不凝固。

解决办法:①灌浆前要画孔内结构示意图(参见图 1),标上钻孔深度、静水位位置、预计水泥浆高度、灌浆管尺寸等,计算好替水量。②加大水泥浆量,提高安全系数。因计算的替水量与实际需要的替水量会有出入,故宁可损失部分水泥浆,以提高灌注的安全系数。

(3)送完替水后即提灌浆管。提出灌浆管必须在水泥浆及替水稳定后才能执行,否则,在水泥浆下行过程中提灌浆管会导致水泥浆提前出灌浆管,达不到灌注部位,并被管外水稀释。

只有一种情况可不测管内液面,送完替水后即可提灌浆管,即孔内不漏水的情况,因为在这种情况下,送完替水后水泥浆就到达预定部位。

解决办法:水泥浆及替水从孔口到达预定位置需要一定的时间,这个时间不好计算,简单的办法是测管内液面,液面稳定后即可提灌浆管。或静待 1~2 min 再提灌浆管。

(4)提出灌浆管后或提管过程中没有往孔内补充相应的水量。机台在进行水下灌注时,一般是用钻杆做灌浆管。从以上的计算可知,在深孔中灌浆,因孔深,钻杆在水下部分的体积会很大。当灌浆完提出钻杆后,孔内水位会大幅下降(参见图 4),而地下水位在短时间内不会有变化,为达到钻孔内外压力平衡,地下水会大量涌入钻孔,从而改变水泥浆的位置及水灰比,导致灌浆失败。

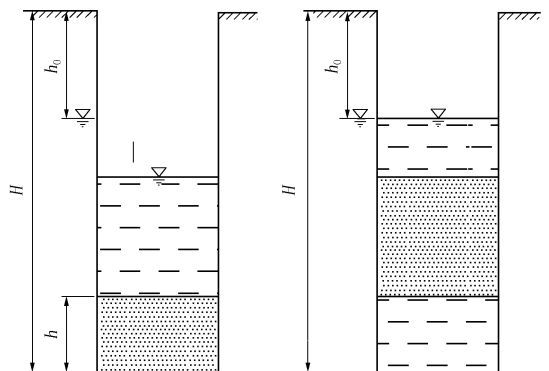


图 4 灌注完提灌浆管后情形示意图

解决办法:计算好孔内水下灌浆管的体积(不是容积) V ,即为提出灌浆管时应补充的水量。灌浆管提到静水位以上 5~10 m 后,往孔内补充灌浆管排出的水量 V 。

(5)地下水活动。若地下水流速太快,水泥浆在凝固之前就会被地下水稀释或带走,导致灌注失败。

解决办法:灌速凝水泥浆,或其他方法。

3.2 发生灌水泥事故的原因及解决办法

3.2.1 灌注时间大于水泥的初凝时间,导致灌浆管被水泥浆凝住

解决办法:灌注前必须计算好灌注时间,灌浆管必须在水泥初凝前提出水泥面。若计算的灌注时间大于水泥的初凝时间,必须加缓凝剂,延长水泥的初凝时间,使其大于灌注时间(通过试验)。或采取分步灌注的办法。

灌注前要充分做好准备工作,减少或避免不必要的操作时间;尽可能减少各工序的时间,如尽量用大泵量送浆和水;加快搅拌速度和提钻速度等。

灌注时要有专人计灌注时间,无论什么情况,快到水泥的初凝时间就要提灌浆管出水泥面。

3.2.2 扫水泥塞时,因水泥浆面上移及操作不当发生事故

很多灌水泥事故往往是在灌注失败的基础上,在扫水泥塞时发生的。由于替水量把握不准,没有补充灌浆管的排量等原因,导致水泥浆的位置大大提高,有的甚至提高几百米。水灰比因孔内水的混入而变大,凝固时间延长。而施工人员对此认识不足,凭想象认为水泥浆在预定位置,待凝时间已到,水泥浆也该凝固了,所以下钻时毫无戒心,当钻具插入水泥浆中拔不出来时才知道问题的严重性。

因钻具、钻杆的质量大,钻具刚接触水泥浆时是没有反应的,当钻具下不去时已插入水泥浆很深了。在水泥浆的粘聚力及真空吸力的作用下,钻具已无法动弹。

解决办法:

(1)严格按水下灌注的操作步骤灌注水泥浆,确保灌注成功,保证水泥浆位置跟理想状态相差不远;

(2)扫水泥塞前先用测锤测水泥面位置;

(3)下钻到水泥面以上 10 m 时开泵送水,以后边送水边扫,加钻杆前应空转送水一段时间,返清水后才停泵加钻杆,以免上返的水泥颗粒因停泵而快速沉淀发生埋钻事故。

根据经验,为避免灌水泥事故的发生,在水泥浆未干之前不要扫水泥塞。若非扫不可,要判明水泥在孔内的位置,扫水泥时不能停泵,下扫不能太快,加钻杆前要空转送一段时间的水,确保孔内干净。

4 工程实例

2007 年 11 月,某施工单位发生了一起严重的灌水泥事故,导致 500 m 钻杆报废,钻孔被迫停钻。该孔设计孔深 800 m,已施工到 700 m,因 650~700 m 段岩心破碎,钻孔漏失,机台对该孔段实施灌水泥护壁堵漏。用水泥 10 包,理论灌注长度 90 m,即 610~700 m。停待 72 h 后下钻扫水泥塞,当钻具下到 500 m 时下不去,提不动,转不动,当时判断为孔壁掉块卡钻或埋钻。后返出 200 m 钻杆,再返不动。

经询问,灌注前没有测静水位,没有计算替水量,灌完浆后水泵送水约 0.5 h,提钻杆时及提完钻后没有补充水。这种情况十有八九可判断为灌水泥事故。因灌注前没有测静水位,没有计算替水量,没有补充钻杆排量,水泥浆很可能已上升到很高的位置,而施工人员还以为水泥浆在 600 m 以深,故下钻时毫无顾忌,直到钻杆插入粘稠的水泥浆(虽已待凝 72 h,但由于水灰比的改变,水泥浆凝固的时间已大大延长)中不能动了还不知道,以为发生卡钻或埋钻事故。

为验证究竟是卡埋钻事故还是灌水泥事故,施工单位在 $\varnothing 50$ mm 钻杆下部焊硬质合金下去透孔,结果在 200 m 左右取上水泥心,证明水泥浆已经上升到 200 m 以上。

在这次事故中,施工单位没有测静水位,没有计算替水量,没有补充灌浆管排量,扫水泥塞前没有测水泥上返位置,可以说是步步出错,其结果是必然的。

5 结语

岩心钻探中很多地方要用水下灌注的方法护壁、堵漏、处理井故。在实施水下灌注前,必须掌握各种数据,进行各项计算,严格按水下灌注的原理及步骤进行操作,才能保证灌注成功,才能避免灌水泥事故的发生。

参考文献:

- [1] 武汉地质学院,等. 钻探工艺学(中)[M]. 北京:地质出版社,1981.
- [2] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰新,等. 钻井液与岩土工程浆液[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [3] (91)中色地字第 0831 号,有色金属地质岩心钻探技术规程[Z]. 1991.
- [4] 武警黄金指挥部司令部. 岩心钻探手册[Z]. 2002.