

原文的极限状态方程:  $R - r_c \exp \left| \frac{2\pi k_0 L (p_c - p_0)}{Q\mu} \right| = 0$ 。

没有考虑作用时间  $t$ 。同时笔者认为长度  $L$  对有效扩散半径的影响并没有如此显著。

注浆压力作用时间  $t$  与扩散半径  $R$  的关系,如下式(其它符号限于篇幅不做介绍)

$$t = 12 \left| 1 + 8.8 \left( \frac{\omega}{b} \right)^{3/2} \right| \left| g b^2 (h_0 - h_c) \right| V_g \left| \frac{R^2}{2} \ln \left| \frac{R}{r_0} \right| - \frac{R^2 - r_0^2}{4} \right| + V \left| \frac{R^2}{2} \ln \left| \frac{r_0}{R} \right| - \frac{r_0^2}{2} \ln \left| \frac{r_c}{R} \right| \right| \left| \frac{R^2 - r_0^2}{4} \right|。$$

(3) 塑性强度的可靠性  $X_3$

原文中极限状态方程:

$$p_0 - \frac{R c_s}{F \exp(-\frac{k_f s R}{F})} = 0。$$

问题之一,原文方程中没有裂隙长度  $L$ ,而符号解释中却出现了,不知是遗漏还是笔误,应给以斧正,否则读者对  $R$  与  $L$  之间的取舍,感到为难。问题之二,胶结物本身的塑性强度满足要求,凝胶体就不会被挤出吗?此类注浆不同于惰性充填,固结体与岩体裂隙表面的黏结力才是抵抗压力  $p_0$  挤出凝胶体的根源,而非原文所说的“凝胶体黏聚力  $C$ ”。

(4) 涌水量(残余水量)可靠性  $X_4$

原文  $X_4$  的提法前后不一致。在前面是“保证达到现场开挖时的涌水量”,而在原文的公式(4)中又定义为“注浆孔的涌水量”,笔者认为这两个“涌水量”的概念是不能混为一谈的。概念的混淆势必使可靠性计算的可信度受到影响。笔者认为用压水试验来确定  $X_4$  或许更为可行。

## 2 关于“注浆堵水成功树”

或许笔者对原文的理解不够深入,看完原文的“成功树”以后,笔者认为只要注浆泵不出现故障(即正常)注浆的可靠性就能得到保障。希望原文作者能够举一实例来说明它的应用。

另外,笔者认为原文中的“岩体注浆较之土体注浆更为复杂”提法欠妥。在碎(砾)石土、砂土(粗砂、中砂、细砂)、粉土、黏性土、黄土、膨胀土等土层中注浆不仅注浆原理、注浆方法、浆液材料需要深入研究,区别对待,而且注浆浆液在固化过程中,受到土体的矿物成分、有机质含量、地下水矿化度等因素影响,固结体表现出的特性也各不相同。这样的提法,尽管与整篇文章内容关系不大,但给人一种厚此薄彼的感觉。同时原文认为“注浆是岩土工程中应用极广泛的一种特殊施工方法,”不知原文作者基于何种考虑。

## 参考文献:

[1] 熊厚金,等.岩土工程化学[M].北京,科学出版社,2001.

# 对“岩体注浆堵水的可靠性设计”讨论的答复

郝哲<sup>1,2</sup>

(1. 沈阳大学 建筑工程学院, 辽宁 沈阳 110044; 2. 东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

中图分类号: TU 472.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2003)03-0383-01

作者简介: 郝哲(1972-),男,辽宁沈阳人,博士,沈阳大学建筑工程学院副教授,东北大学工程力学在站博士后,从事岩土及地下结构工程方面的研究和教学工作。

首先,笔者非常感谢裴向军先生对“岩体注浆堵水的可靠性设计”(以下简称“原文”)一文的关注。

关于针对单孔注浆堵水设计模型所提出的一些问题,现作答复如下:

(1) 关于建立“成功树”时所选用的基本事件。原文的分析思路是先根据注浆工艺流程<sup>[1]</sup>建立完整的单孔注浆堵水故障树。再据故障树与成功树中的逻辑关系,建立经简化的注浆堵水成功树,给出基本事件包括:①水泥浆可注入裂隙;②注浆泵运转正常;③凝胶体不被挤出;④扩散后达设计注浆半径要求;⑤涌水量达设计标准。然后据单孔的分析结果进行进一步的多孔分析。成功树模型中,目的是保证在岩体中注浆的顺利实现:④是满足注浆半径要求以保证注浆堵水时的多孔注浆交圈;⑤是保证达到现场开挖时的涌水量要求。原文中已经指出:“简化时忽略了地下水稀释;跑浆;水泥灰质量;各处阀门及输浆管路;浆液配比等相对次要因素的影响。”成功树中所采用的评价指标不够全面,有一定局限件,这是事实。但笔者认为,对于相应工程计算来讲,这样的简化能满足精度要求<sup>[2]</sup>,可以较全面地反映出注浆全过程。

(2) 关于水泥浆的可注性。裂隙开度与水灰比二指标间有显著回归定量关系,这是前人的结论<sup>[3]</sup>。当然,若能进行显著性分析,综合考虑到其他因素的影响,可使极限状态方程更为准确。但笔者认为,为得到更简单的可注性模型,用单因素进行回归是可以的。

(3) 关于扩散半径。裴向军先生提出了更精确的计算公式,但在现场实际注浆中可供测量的指标有限,过于复杂的公式,如何调查出其中众多变量的概率分布规律?因此,笔者在各个极限状态方程中,都尽量采用了较简单的公式形式。

(4) 原文中故障树和成功树中的逻辑门符号没有印清楚。塑性强度极限方程式是笔者推导出来的,其中  $l$  (裂隙长度) 是推导该式时的一个中间变量。由于篇幅有限,未写推导过程。在结果中无此变量却在说明中出现了,这是本人笔误,请原谅。

(5) 关于塑性强度。注浆堵水的主要目的是保证凝胶体不被挤出(即塑性强度要求),而非用抗压强度来衡量,这也是笔者舍抗压强度指标而采用塑性强度指标的原因,若对于注浆加固设计,则要采用抗压强度作为相应的强度控制指标。原文中的塑性强度公式正是基于“固结体与岩体裂隙表面的黏结力”

的强度要求推导得出的。

(6) 关于涌水量(残余水量)。笔者建立的基本事件 ⑤ 认为:满足现场开挖时的涌水量要求的前提是保证单孔的涌水量(残余水量)要求。

(7) 关于土体注浆与岩体注浆的对比。就施注体而言,被注岩体介质的均匀性和不确定性,如渗透系数的各向异性,岩体裂隙张开度及分布的不均匀性和不确定性等更为明显、更为复杂多变,岩体注浆的研究水平远远落后于土体。有一点可以说明问题:如在岩体注浆分析中,常常直接借用均匀土体中的渗透注浆理论公式,带有明显的基于土体的简化特征;虽也提出过一些单裂隙及裂隙岩体的注浆理论方程,但各自都有很严格的假设条件及适用范围,给应用带来很大不便。有关“岩体注浆较之土体注浆更为复杂”这一提法是否适当,希望大家来探讨。关于“注浆是岩土工程中应用极广泛的一种特殊施工方

法”的提法,笔者不拟再讨论。

(8) 由于篇幅所限,原文未举工程实例。读者可阅读本人的文章<sup>[2]</sup>,在其中有相应工程实例进行了可靠性分析和计算。

注浆是一个非常复杂的系统,影响因素众多,如何去粗取精,去伪存真,以保证设计分析结果更具真实性,是广大注浆研究人员应努力思考的课题。

## 参考文献:

- [1] 朴嘉鸿,张崇瑞,何修仁. 注浆工程手册[M]. 沈阳:东北工学院出版社,1982.
- [2] 郝哲. 地下岩体帷幕注浆堵水可靠性分析[A]. 第六届全国岩石力学与工程学术大会[C]. 2000. 852-856.
- [3] 呈理云. 试论注浆参数与岩层裂隙参数[R]. 沈阳:东北大学情报资料室,1988. 1-5.

# 关于“后注浆钻孔灌注桩承载性状试验研究”的讨论

周立运

(武汉大学 土木建筑学院,湖北 武汉 430072)

中图分类号:TU 473.11

文献标识码:A

文章编号:1000-4548(2003)03-0384-02

作者简介:周立运(1948-),男,长期从事结构动力学、结构抗震和桩基动测技术等方面的教学和研究工作。

笔者近日学习了何剑先生的“后注浆钻孔灌注桩承载性状试验研究”(《岩土工程学报》2002 年第 6 期,以下简称“原文”)一文,获益甚丰。采用桩底后注浆技术不仅可以大幅度提高桩的承载力,减少桩顶沉降,而且桩身的受力性状也得到改善。在桩顶荷载相同的情况下,可适当减小桩径或桩数,从而降低工程造价,具有明显的经济效益,该技术值得推广应用。为了完善该成果,笔者由自己多年测桩的经验,谈 3 点意见,与原文作者商榷。<sup>y</sup>

(1) 原文在试桩内的主筋上对称埋设了 4 只钢弦式钢筋应力计来测量桩身不同截面处的应变,然后根据应变计算各截面的轴向力,以及各桩段的侧摩阻力和桩土之间的相对位移。笔者认为这种测量和计算方法存在一定缺陷。对此,文献[1]中曾作初步讨论,这里再作补充意见如下:

钢筋上的应变值与混凝土上的应变值有一定差别。对此文献[2,3]曾作过试验,即在 6 根混凝土桩上布置应变测点 96 个,其中在混凝土表面布置 60 个,钢筋上布置 36 个。现对大量实测应变值进行了统计分析,发现在同一截面上混凝土的应变值与钢筋目的应变值相关较大。这里分为两种情况:一是混凝土上的应变值大于钢筋上的应变值,二者相差 3%~29%,平均值为 16%,这种情况占统计总数的 70%;二是混凝土上的应变值小于钢筋上的应变值,二者相差 3%~60%,平均值为 39%,这种情况占统计总数的 30%。由此可归纳得到两点:一是在同一截面上二者应变值不相等;二是取混凝土上应变值计算桩的应力和轴向力更合乎实际。

桩的变形模量  $E$  不是一个常量。如何确定钢筋混凝土桩的  $E$  值,对于计算桩身的轴向力和桩的压缩变形量是至关重要

的,对此,文献[4]曾作过试验,发现桩在静载试验时,在不同加载时的应力—应变关系呈曲线变化。当荷载较小时,基本是直线;当荷载较大时,明显是曲线。由此说明,将桩的变形模量  $E$  当作常量来计算桩身的轴向力和桩的压缩量无疑会产生偏差,特别是最终荷载时,其误差更大。

虎克定律  $\sigma = E\varepsilon$  不能适合钢筋混凝土桩。据材料力学可知,虎克定律  $\sigma = E\varepsilon$  使用条件是单向承受轴向拉压的线弹性材料,如钢管桩。而混凝土在初始变形中就出现了塑性变形,所以它不服从虎克定律。现在许多文献都采用该式计算混凝土桩的应力和轴向力。这与真实值有一定差别,如何合理计算和分析值得深入研究。

针对上述原因,原文是否对混凝土上应变和钢筋上的应变作过对比试验,变形模量的变化如何。这些都值得探讨。

(2) 原文所述“1<sup>#</sup> 试桩的承载力特性由于注浆作用而发生改变,与未注浆的 2<sup>#</sup> 试桩相比,其曲线的变化趋于平缓”。这与图 1 中的曲线变化恰好相反,即“1<sup>#</sup> 试桩”与“2<sup>#</sup> 试桩”互换位置。这可能是笔误造成的。图 4 也有同样的错误。更正后才能与图 6 和全文的文字说明相符。

(3) 原文表 1 中的最大加载量为 9100 kN,为什么在图(2)中没有表示出来。在图中的最大轴力估计只有 8200 kN。笔者在文献[5]中曾对两根钢管桩的静力压载试验采用 2 只 5 的千斤顶,满量程是 10000 kN,其实只能加载到满量程的 90%,即 9000 kN。大于此值只有是暂时加上,很快就会下滑,不能维持稳

<sup>y</sup> 讨论稿收稿日期:2003-01-23

答复稿收稿日期:2003-02-19