

文章编号:1001-1986(2002)01-0036-02

## “抽注式”注浆法探讨

顾孟寒 (淮南工业学院, 安徽 淮南 232001)

**摘要:**目前孔隙性围岩注浆参数大多是根据浅表土的渗透系数确定的,这不适合深层土注浆。本文从注浆压力对浆液扩散影响最显著的特点出发,提出用注浆孔与抽水孔同时工作的方法,这种方法可使浆液水力坡度增大,增加浆液有效扩散半径,提高深表土层注浆效果。

**关键词:**孔隙性围岩;抽水;注浆;水力梯度

**中图分类号:**TD265.4 **文章标识码:**B

## 1 引言

我国华东、华北的一些地区表土层厚达 200 ~ 500 m,其间含有多层含水层,构成的流砂层给建井带来巨大困难。迄今绝大多数矿井采用冻结法凿井,但多年实践表明,这种建井方法会产生一些难以纠正的有害后果,这包括:冻土具特有的物理力学性能,使得井壁受力复杂,越来越厚的混凝土外壁仅用作抵抗冻土的冻胀力;施工中往往容易发生冻结管断裂而淹井;冻实的岩柱使施工困难;随着表土解冻会产生融沉现象,矿井开采后含水层固流耦合作用还会引起表土沉降等,这些均会对井壁产生很大的破坏力。黄淮地区四十几个立井井壁破裂已经证明了这一点。因此很有必要研究稳定与加固孔隙性围岩的其他施工方法。

研究表明,采用注浆法使井筒周围形成永久性帷幕,能减少对井壁的水土压力以及因采动或地下水流失造成的表土下沉对井壁的竖向附加力,这可视为围岩与井壁共同承载。为了在深表土层使用注浆法,我们认为,有必要采用注浆与抽水同时作用的“抽注式”注浆法,这将增大浆液有效扩散半径,提高注浆效果,从而能实现在深表土层段采用普通井法施工的工艺,使井壁设计和井筒施工都得到变革。

## 2 渗透系数并非表土注浆的主要参数

采用各种表土扩散半径式作计算时所选用的渗透系数  $K$  值通常是由实验室低水头渗透试验测定的,所得到的不同土质渗透系数的级数相差很大。通常强调介质渗透系数的作用,认为它是影响浆液扩散半径的主要因素,在实际应用中往往引起较大的误差。许多文章常引用雅特提出的渗透系数与有效扩散半径的关系,作为表土层注浆设计的依据。(表 1)

不难看出,雅特所给定的关系仅适用于浅地基加固的低压渗透注浆法。要将这一以渗透系数为主要影响因素的关系用于深表土注浆施工显然是不合理的。

有实验表明,多孔介质注浆参数回归方程可描述如下:

$$R = 8.7 P_0^{0.4749} K^{0.3647} \mu_0^{-0.4749} t^{0.1509} T^{0.3240} h^{0.2706}, (1)$$

其相关系数  $r = 0.99$ ,表明回归相关密切。

式中  $R$  为浆液有效扩散半径;  $P_0$  为注浆压力;  $K$  为介质渗透系数;  $\mu_0$  为浆液粘度;  $t$  为注浆时间;  $T$  为浆液凝胶时间;  $h$  为注浆段高度。

由(1)式可以分析:

a. 注浆压力对浆液扩散的影响最显著。提高注浆压力或增加浆液在渗流过程中的水力梯度,有助于浆液的运动,增加浆液的扩散距离。在浅表土注浆中因要防止表土隆起而限制注浆压力,但对于深表土则可采用高压注浆。由于在施工中要受到注浆泵的压力—流量特性和工程条件的限制,注浆压力的提高也是受到限制的。

b. 浆液的性质如浆液粘度和凝胶时间对浆液的扩散也具有明显的影响,可通过选择低粘度的注浆材料来减小浆液的初始粘度和延长其凝胶时间,改进浆液的性能。

c. 相对而言,介质渗透系数的影响要小于前两项参数。

表 1 渗透系数与有效扩散半径关系(雅特)

注浆土质	土层渗透系数 $K/\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$	浆液有效扩散半径 $R/\text{m}$
砾石	$10^0$	3.73
砂砾	$10^{-1}$	1.73
粗、中砂	$10^{-2}$	0.80
细砂	$10^{-3}$	0.37
砂质土	$10^{-4}$	0.17
粘土	$10^{-5}$	0.08

收稿日期:2001-04-23

作者简介:顾孟寒(1950—),男,江苏滨海人,淮南工业学院工程师,从事岩土工程、井巷工程方面的实验和科研工作。

国内外一些实践表明,将注浆法用于表土层段凿井是完全可能的。如日本应用化学注浆,使井筒顺利通过 80 m 的表土层。河北峰峰矿务局通二管子井用水泥浆液进行地面注浆,注浆压力最大 4.5 MPa,浆液扩散半径初期达 10 m 以上,后期也在 3.5 ~ 4 m 之间。在揭露该注浆层时,证明该层已被固结为一整体,掘进时须用风镐破岩。原预计该冲积层最大涌水量为 189.9 m<sup>3</sup>/h,注浆后实际涌水量为 1.34 ~ 9.3 m<sup>3</sup>/h,封水效果达 98.6% ~ 95.1%。

### 3 水力梯度值对注浆效果的影响

对孔隙性围岩注浆的效果在于:对于砂质土,浆液驱替地下水,起到置换作用;注浆赋予砂土层内聚力的提高,增强围岩的强度。对于粘土,由于注浆使其发生压缩、脱水,渗透到土层内的浆液把土局部割断,由浆液材料固结后构成骨架。表土注浆的目的在于尽可能使上述效果的范围扩大,即扩大注浆有效半径。

浆液在流动中必然完成水力学过程,还可将具有一定粘度的浆液运动状况看作与地下水运动一致的匀速运动。

#### 3.1 单孔注浆或双孔注浆的相互作用

在分析单孔注浆时,可把边界当作一镜面来映射实际注浆孔。

据此可推算出单孔注浆量计算公式为:

$$Q = \frac{2\pi km(P_0 - h_R)}{\mu_0 \ln \frac{R^2}{2ar_0}} = \frac{2\pi kmh_0}{\mu_0 \ln \frac{R^2}{2ar_0}}, \quad (2)$$

式中  $m$  为含水层厚度; $a$  为 1/2 孔间距; $h_R$  为外部边界水头; $h_0$  为注浆水力梯度。

#### 3.2 注浆孔与抽水孔同时工作时的相互作用

若一个孔与另一个孔同时作用,设汇点吸收的强度与源点发射的强度相等,根据势的叠加原理, $y$  轴上任意点  $n$  的势为:

$$\varphi_n = \frac{\theta}{2\pi} \ln R_1 - \frac{\theta}{2\pi} \ln R_2 + c,$$

式中  $R_1$  与  $R_2$  分别为  $n$  点到注浆孔和抽水孔中心的距离,若  $R_1 = R_2$ , 则:

$$\varphi_n = c. \quad (3)$$

可见在  $y$  轴上,也就是两孔距离的中心线上,任意点势为常数,说明这个边界相当于一个常水头的供液边界。真实液体流动时为了克服阻力必须消耗压力,又因为压力函数  $p$  和势函数  $\varphi$  有关,则它们的关系式为:

$$\varphi = -kp.$$

以上分析表明,两个相互作用或单个注浆孔工作时,其相互作用的流线形成象平面一样的分界线,浆液是不能逾越这个平面的。而两个相互作用的注浆孔和抽水孔工作时,在两孔间有一平面,其各点的势为常数,随着源(注浆)与汇(抽水)的共同作用,浆液以较小的阻力流向抽水孔方向。

### 4 浅议“抽注式”注浆

单纯的注浆,浆液要克服介质孔隙的阻力,由于水的不可压缩性,这部分阻力比较可观,在深表土层中尤为如此。由(1)、(2)两式可知,注浆压力的提高或浆液水力梯度值的增大,是增加有效扩散半径,提高注浆效果的最重要措施。而(3)式表明“抽注式”注浆能有效地增加浆液的水力梯度,和单纯注浆相比具有非常显著的优势。

a. “抽注式”注浆更加符合真实液体流动的水力学原理,增加了浆液的水力梯度值,使得注浆有效扩散半径增加,提高了注浆效果。如果抽、注孔的钻进工作量与冻结孔钻进量相同的话,则可保证注浆法在深表土井筒工程中的应用,其优势是可以预想的。

b. 由于  $h_0 = P_0 - h_R$ , 若  $h_0$  值不变即可保证浆液扩散半径,则由于抽水的作用,  $h_R$  降低,注浆压力必然可以减小,这样可以更好地满足注浆系统的压力—流量特性曲线,增大注浆的进浆量,注浆效率得到提高。

c. 浆液在渗流过程中并不是完全均匀渗透的,总是先往渗透性好的介质或层位渗透,这对形成均匀的帷幕厚度很不利。采用抽水注浆则可根据围岩的状况和帷幕的设计要求,制定抽、注孔的数量和排列以及控制各自的流量,使得浆液受控渗透,从而形成理想的帷幕。

d. 由于浆液的水力梯度值提高,使得注浆有效半径扩大,注浆孔数可以减少。如果遇有偏斜孔,在允许的较大偏斜值内也可不需补孔。因此钻进工程量可以减少,工程成本将会降低。

e. “抽注式”注浆同样适用于裂隙性岩层的注浆。

综上所述,这一“抽注式”注浆法设想可能更符合真实液体流动的水力学原理,若将这种方法和注浆工程已取得的许多经验结合起来,那么帷幕注浆法有可能用于深表土凿井。在发生众多因表土围岩沉陷而导致井筒破裂的华东地区,“抽注式”注浆法的应用可能具有潜在优势。

文章编号:1001-1986(2002)01-0038-03

# 兖州西部奥陶系水文地质特征

刘希新<sup>1</sup>, 于克君<sup>2</sup> (1. 山东煤田地质局第一勘探队, 山东 滕州 277500;  
2. 山东煤田地质局, 山东 泰安 271000)

**摘要:**华北地区奥陶系厚度大,富水性强。本文以兖州西部水源地勘探、抽水试验资料为基础,通过对奥陶系的水文地质特征的综合研究,将奥陶系含水岩组划分为7个含水层段。该方案在鲁西南的水文地质勘探中已得到了普遍应用。

**关键词:**奥陶系;水文地质条件;含水层段;兖州西部

**中图分类号:**P641.6 **文献标识码:**A

## 1 引言

华北地区奥陶系碳酸盐岩厚度大,分布广,富水性强,在断裂带和浅埋区可形成大型的供水水源地,是石炭二叠系煤田主要的突水水源。因此,奥陶系含水特征的研究一直是这一地区的重要课题。其中,奥陶系含水特征在垂向的变化规律——层控规律越来越受到重视。曹以临等(1982)研究了华北奥陶系岩溶发育特征的层控规律,林曾平等(1982)对峰峰奥陶系划分了3组8段,冯启言(1990)对滕沛煤田奥陶系划分为3组7段。上述划分在区域上具有代表意义,并被生产单位所采用。但华北奥陶系在岩性、厚度、岩溶发育规律、富水性等都有很大的差异,不同地区含水层段的划分既可区域上对比,又有一定的差异。本文以穿透奥陶系的3-2孔为基准剖面,结合区内的23个水文地质孔对兖州西部的奥陶系进行了综合研究,提出了奥陶系含水层段的划分方案。

## 2 兖州西部水源地水文地质概况

研究区位于兖州煤田西部,第四系厚度0~158.92 m,根据岩性可分为上、中、下三组,其中上组

0~93.65 m,砂层为主,粘土含量少,为第四系主要含水层段;中组以粘土为主,相对隔水;下组含水性中等。区内奥陶系厚度、岩性稳定,根据“山东省区域地质表”将其划分为中统(八陡组,阁庄组)和下统(马家沟组,北庵庄组,纸坊庄组)。除滋阳山有少量露头外,均被第四系覆盖。因此奥陶系主要补给来源为研究区外的侧向径流和第四系松散层的人渗补给。岩溶水总的径流方向由东北趋向西南,沿孙氏店断层流向邹县西部水源地。

## 3 兖州西部奥陶系含水层段划分

研究区内奥陶系资料很少,为此,在勘探工程中首先施工了3-2号基准孔,该孔穿过奥陶系,见寒武系29.51 m停孔,全部取心,分层进行化学成分测试和岩矿、地层古生物鉴定。在上部进行了3层段4次抽水试验,全孔进行了测井解释、流量测井和超声成像。另外还施工了20个奥灰孔,进行了32层段抽水实验,并对32个水样进行了化学成分分析。上述资料表明奥陶系岩溶裂隙发育程度、富水性、水质等方面具有明显的垂向分带规律,因此,根据岩性、岩层的组合、物性特征和水文地质特征把奥陶系划分为7个含水层段,(图1)各段的特征分述如下:

收稿日期:2001-05-22

作者简介:刘希新(1946—),男,山东滕州人,山东煤田地质局第一勘探队高级工程师,从事煤田水文地质、工程地质工作。

## 参考文献

- [1] 何修仁等. 注浆加固与堵水[M]. 沈阳:东北工学院出版社, 1990:214-220.
- [2] 曾荣秀等. 注浆技术经验汇编[C]. 北京:煤炭工业出版社, 1988.
- [3] 施普德. 井水量计算的理论与实践[M]. 北京:地质出版社, 1977.

## A preliminary discussion about pumping grouting

GU Meng-han (Dept. of Civil Eng, Huainan Institute of Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** Up to now grouting parameters for the porous surrounding rocks, depended on the penetrating coefficient for shallow surface soil, is unfit for the deep surface soil grouting. Derived from the most outstanding characteristic of the effects which the grouting pressure has on grout diffusibility, this article poses a method, that suggests grouting and pumping are simultaneously applied, this method will be helpful to increase the grouting hydraulic gradient as well as expand the effective grout diffusivity radius and thus strong then the grouting efficiency of the deep surface soil.

**Key words:** porous surrounding rocks; pumping; grouting; hydraulic gradient