

国外高压喷射注浆技术的发展

咎月稳

(郑州铁路局西安科研所,西安 710054)

1970年日本研制出单管旋喷注浆法(CCP法)后,相继又研制出二重管(JSG)、三重管旋喷注浆法(CJP)和SSS—MAN多管注浆法。这三种方法自80年代以来,已在我国推广使用。但是高压喷射注浆法在城市应用时返出的泥浆排放是一个问题,日本在这方面做了不少研究工作。日本高压喷射注浆已向大直径、多方位喷射方向发展。本文将介绍国外最近研制的几种高压喷射注浆工法。

1 Super Jet工法

Super Jet工法是H. Yoshido(约希多)、S. Jimbo(吉姆伯)等人1987~1992年期间研制的一种大直径高压喷射注浆法。它的直径达到5.0m,他们分两个阶段研制。第一阶段(1987~1989)为基本参数试验;第二阶段(1990~1992)为野外试验。

1.1 基本参数试验

1.1.1 选择喷射压力和流量

喷射压力 P 和喷射流量 Q 是两个很重要的水流切割参数。喷射压力 P ,喷射流量 Q ,射流达到的距离 X 和到达时间 t 的关系如图1所示。图2是给定喷射时间为0.1s时的 $P-Q-X$ 和 $P-Q-P \cdot Q$ 关系曲线,可看出射流到达距离与水射流能量($P \cdot Q$)成正比。在能量给定时,提高流量使喷射距离增大要比提高压力使喷射距离增大的明显。因此,选用 P 为30.0MPa, Q 为600L/min,水平两个相反方向的喷嘴各300L/min。

1.1.2 喷嘴的移动速率与反复次数 N

图3表示旋转速度和切削距离的关系,提高旋转速度,切削距离变短。旋转速度在10r/min以内,比较明显。图4是反复次数和

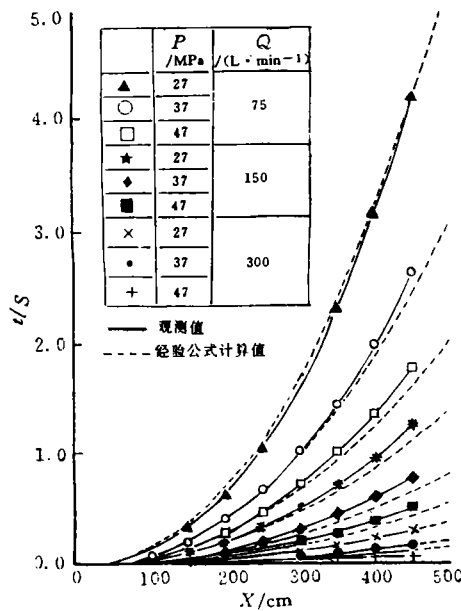


图1 射流到达的距离 X 和到达时间 T 的关系

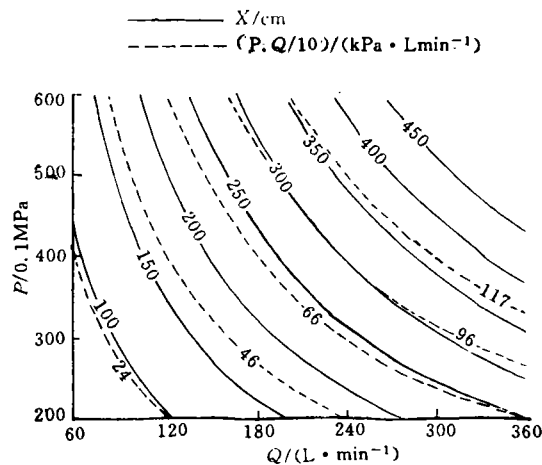


图2 $P-Q-X$ 曲线

作者简介:咎月稳,男,高级工程师,研究室主任。1982年毕业于西南交大工程地质专业,1989年获硕士学位。主要从事深层搅拌桩、高压喷射注浆、岩土注浆、地基处理检测等方面工作。

切削距离的关系,当 $N=10$ 时,切削距离在逐渐增加,超过 10 后,切削距离就不再增加,因此选择旋转速度为 $10r/min$,反复次数也在 10 以内。

1.1.3 注浆比与固结体单轴抗压强度的关系

注浆比定义为喷射总浆量与改良土的体积之比。注浆比与固结体单轴抗压强度之间的关系见图 5。

1.1.4 提升速度

在含砂 94% 的砂土层(SPT 即 N 值为 $10\sim 20$)内进行喷射试验,加固的目标是直径达到 $5.0m$,桩体无侧限抗压强度达到 $3.0MPa$,经试验,达到上述目标要求的提升速度为 $10cm/min$ 。

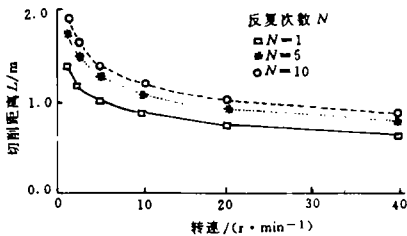


图 3 转速与切削长度的关系

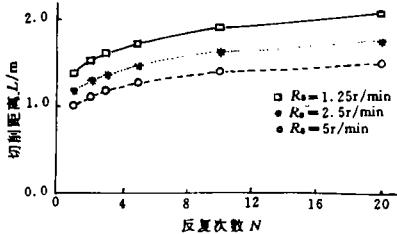


图 4 反复次数与切削长度的关系

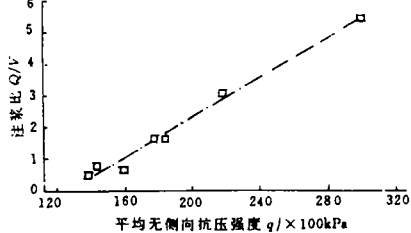


图 5 固结体强度与注浆比的关系

1.2 野外试验及应用

Super Jet 工法在粘性土、砂质土、粉质土中进行了喷射注浆试验,各种土的力学性质见表 1。试验得到的桩体直径和单轴抗压强度见表 2。

野外试验发现,切削直径与提升时间有

关, t 。代表切削时间中最长的切削时间,将切削时间用 t 。归一化。 $D-t/t$ 。曲线见图 6,可看出切削时间越长,切削的直径也越大。

表 1 土的力学性质表

土 层	q_u/kPa	$N/$ 击
砂质土砂含量 95%		10~15
粉质土	50~70	2
粘性土	30~50	0

表 2 固结体的尺寸和强度

土 质	直径/m	单轴抗压强度/MPa
砂质土	>5.0	3.7
粉质土	5.0	2.5
粘性土	>5.0	1.0~6.0

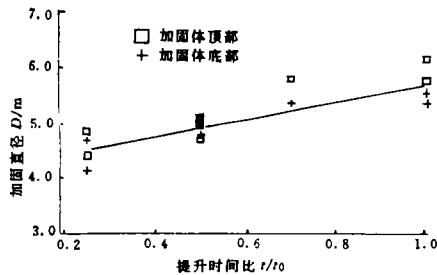


图 6 固结体直径与提升时间的关系

2 MJS 工法

2.1 MJS 工法的特点

MJS(Metio Jet System)工法由日本中西涉等人研究。MJS 工法的特点有:

(1)与一般单管、双管、三管法相比,MJS 法可全方位喷射注浆,(见图 7)。可以水平、垂直、倾斜喷射注浆,尤其在地下水平喷射注浆,其装置(见图 8);

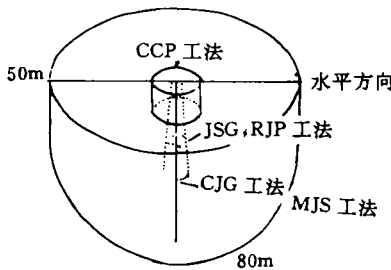


图 7 各种高压喷射注浆工法的应用范围

(2)一般高压喷射注浆时泥浆是靠压缩空气的升扬作用通过钻孔与钻杆之间的空隙

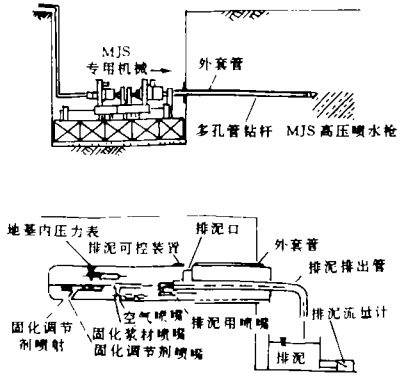


图 8 MJS 工法水平施工工作面图

排到地面，施工深度一般约 30m 左右，而 MJS 工法使用泥浆真空泵抽取泥浆，施工垂直深度达到 80m，水平深度 50m；

(3) 由于安装了压力传感器，可以监测到喷射处的压力，防止地面隆起；

(4) 可以任意选择桩径，桩径可以从 40cm 变化到 300cm。

(5) 工作环境干净，场地无污染。

2.2 MJS 工法的工作原理

(1) MJS 法使用 $\phi 140$ 的钻孔，钻杆内装有泥浆抽取管，用一个压力泵抽取的泥浆并于注入地下的浆液，保证了切削空间；

(2) 测量喷射距离为 20cm 处的泥浆压力，并认为是地下压力，在喷射注浆期间一直控制这个压力；

(3) 装有一个辅助装置，保证地下压力不高于侧压力，以便在有水压时继续工作；

(4) MJS 法使用的喷射压力是一般高压喷射法压力 (20MPa) 的 2~3 倍，因而固结体的直径大；

(5) MJS 还有一些辅助设备，如将排出的泥浆分离并转换为可利用的纯水和便于运输的泥饼。另外还有地下压力显示、记录、存储装置。

2.3 MJS 工法的应用

(1) 1994 年 9 月~1995 年 2 月在日本 Kobe 的 Kozukayama 隧道开挖前加固。加固的位置距地面 8m，工作地层为砾石层， N 值至少 70。要求开挖隧道时不能让地面沉降。

MJS 法施工时，喷射硬化材料的压力达 50MPa，钻杆抽取速率 2.5cm/min，每次开挖长 50m。成桩直径 1.4m，每断面 38 根桩。

(2) 1995 年 2 月~1995 年 6 月完成了河床下面污水管道盾构隧道的防护。隧道的长度 60m，施工是在地面下 23m 处进行的。

3 RJP 工法

RJP 工法也是由中西涉等人研究，它是在三管法的基础上改进的，采用了二次喷射，桩的直径大大增加。其工作原理见图 9。

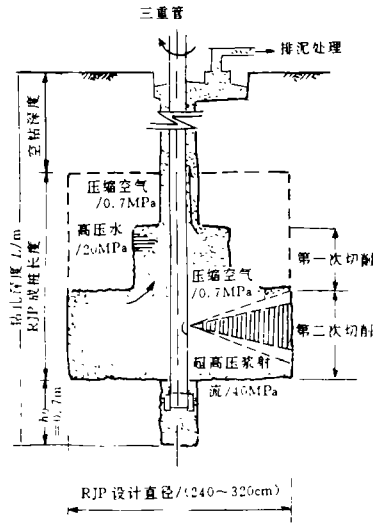


图 9 RJP 工法原理

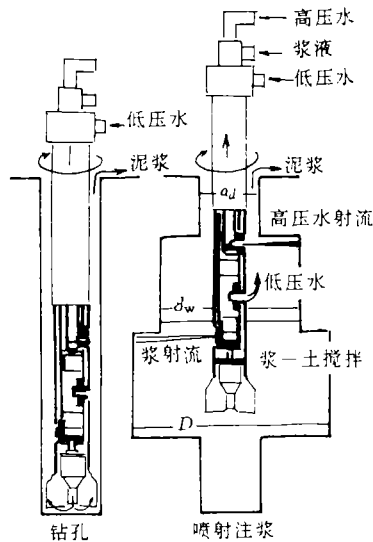


图 10 M. F. Khassme 法原理

(下转第 62 页)

内的多维空间,其屈服函数将是这个多维空间中的一个屈服曲面。本书中这种考虑思路与我们的研究成果中曾称之为增湿变形曲面有某些相近之处。

以往对黄土的湿陷系数都是用单轴压缩仪在给定压力(例如 $p=200\text{kPa}$)和充分饱和和浸水的情况下测定的。实际上黄土湿陷(增湿)变形在不同的应力状态和增湿含水量情况下均有可能发生。而且,把黄土的湿陷变形完全归结为土体孔隙体积的压缩,忽视了土体在应力作用下的侧向变形,是用单轴压缩仪测定湿陷系数的一个重要缺陷。本书中详细介绍了刘祖典教授在不同含水量条件、不同应力状态和不同主应力比(K)情况下进行三轴压缩试验,研究黄土在水与力共同作用下的湿陷(增湿)变形的重要成果,特别强调指出主应力比 K 对黄土湿陷变形有很大的影响。 K 值不同,湿陷应力—应变曲线的形态亦不同。不论是湿陷体应变还是湿陷剪应变,应力—应变关系曲线都表现为反弯形态,曲线上第一个拐点把曲线分为两段,前段下凹,后段上凹。曲线上的拐点显示出黄土在湿陷变形过程中结构强度变化性质的差异:在拐点前表示黄土原状结构逐渐破坏和结构强度逐渐消失,由于强度消失的因素大于强度增长的因素,因而曲线下凹;在拐点之后,新的压密结构逐渐形成和压密强度的增长,强

度增长的因素大于强度消失的因素因而曲线转为上升趋势。拐点的位置与主应力比 K 值有关。湿陷变形由湿陷体应变和湿陷剪应变两部分组成,当 $K>0.5$ 时,以湿陷体应变为主;当 $K<0.5$ 时,以湿陷剪应变为主。可以预计,这些研究成果与学术论点将对黄土湿陷性研究和评价起到极为重要的理论指导作用。

本书总结了刘祖典教授几十年来在黄土地区的工程实践经验特别是黄土边坡和黄土洞室方面的宝贵经验,具有重要的价值。

多年来,我院结合工程实践和研究生教学,一直进行着黄土工程性质的科学研究,取得了一定的成果。在此过程中,我们曾得到刘祖典教授的热情帮助。对于黄土力学的核心问题,即黄土的结构强度和湿陷(增湿)变形问题,我们与刘祖典教授曾有过多次交流。我本人还参加了刘教授负责的中国科学院自然科学基金课题——黄土力学模型和本构关系及其在工程中的应用——研究成果的评审工作,从中获益非浅。我觉得应做好两件事:第一,认真学习《黄土力学与工程》这本书,把学习心得写成文章向广大同行推荐介绍;第二,将我院黄土工程性质研究工作坚持下去,不断探索,创新提高,把我国的黄土力学水平推向一个新的高度。

收稿日期:1998-02-19

(上接第 65 页)

另一种由 M. F. Khassme (卡斯姆)介绍的方法类似于 RJP 工法(见图 10)。由高压水射流切割土体,用低压水流排土,这样就能够达到要求的扩孔直径和所要求排出土的体积。这种二次喷射法,上部喷射是引导喷射,其作用是扩孔,下部喷射是喷射注浆,再次扩孔,并取得较好的搅拌效果。

参 考 文 献

- 1 H. roshida, S. Jimbo & S. vesawa. Development and Practical applications of large Diameter Soil Improvement method Proc 2st International conference on Groud Improve-

ment Geosystems, Vol. 1. Tokyo. May 1996, P721.

- 2 K. Naka shima, T. kashima. et al Applications of MJS Method (metio Jet system) — ALL — around type of reinforcing and consolidation method in the ground. Proc. 2st. International Conference on Ground On Geosystems. Vol. 1. Tokyo. May, 1996. P333
- 3 M. F. Khassine. Variants of jet grout technology without loss of grout. Proc. 2st. International Conference on Ground on Geosystems. Vol. 1. Tokyo. May, 1996. P153.
- 4 熊厚金主编:国际岩土锚固与灌浆新进展。北京:中国建筑出版社,1996。

收稿日期:1997-03-24