

# 注浆法在黄土地区公路路基洞穴处理中的应用

李寻昌, 门玉明, 刘妮娜, 刘英朴

(长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 研究了注浆法在黄土地区公路路基洞穴处理中的加固机理及技术指标。黄土地区公路中的洞穴对公路的安全运营常造成严重危害, 同时对于这类洞穴的处理尚缺乏有效的方法。在大量调查和参考前人研究成果的基础上, 将注浆法用于路基中洞穴的处理, 提出了注浆法加固的主要设计参数, 通过对施工现场黄土洞穴注浆处理效果分析, 认为该方法具有良好的处理效果。

[关键词] 黄土; 洞穴; 注浆; 路基; 公路

[中图分类号] U416.169 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2004)01-0038-03

[作者简介] 李寻昌(1975—), 男, 陕西兴平人, 硕士研究生, 现从事岩土工程教学与科研工作。

黄土是一类结构疏松、具有大孔隙和湿陷性的黄色沉积土层的统称<sup>[1]</sup>, 它是长期自然地质作用形成的地质体。

黄土地区发育在公路路面、路肩、路基和路基边坡中的洞穴对公路的运营常造成严重危害。注浆法是处理黄土地区公路路基的一种有效方法, 该方法具有效果显著、技术先进、设备简单、施工方便、不影响正常交通等优点, 同时注浆法处理的费用合理, 经济效益可观。

## 1 注浆法加固机理

### 1.1 概述

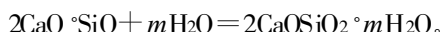
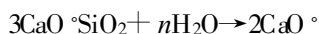
注浆法是指利用液压、气压或电化学原理, 通过注浆管把浆液均匀地注入地层中, 浆液以充填、渗透和挤密等方式赶走土颗粒间或岩石裂隙中的水分和空气后占据其位置, 经人工控制一定时间后, 浆液将原来松散的土料或裂隙胶结成整体, 形成一个结构新、强度大、防水性能高和化学元素稳定性好的“结石体”<sup>[2]</sup>。路基填筑的浆液有充填挤密胶结土体的作用, 在土体中凝固以后可以提高土体承载力和抗变形能力<sup>[3]</sup>。

### 1.2 注浆法的机理

#### 1.2.1 水泥水化反应

注浆材料的类型很多, 大多是根据加固目的、施工环境、施工方法等条件来选择浆体的类型。对于湿陷性黄土地区路基中的洞穴处理施工, 在选择浆液类型时以无毒、无污染、施工简便、取材方便、价格低廉为原则。黄土地区公路路基以黄土或天然砂砾填筑为主的情况, 选择以水泥为主体的无机类浆体材料较为合适。在使用过程中, 为了降低水泥用量, 常用粉煤灰代替部分水泥而配制成水泥粉煤灰浆液。在某些情况下为了达到一定的技术要求, 如初凝时间、防冻等在浆体中加入一定数量的添加剂, 常用的添加剂有水玻璃、三乙醇胺、氯化钙、氯化钠等。

水泥的主要成分为硅酸三钙  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、硅酸二钙  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、铝酸三钙  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  和铁铝酸四钙  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , 而前两种占水泥总量的 70%~80%, 水泥在配制浆液时, 不断水解和水化成氢氧化钙  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  和其他水化物, 其水化方程式为<sup>[4]</sup>:



上述两个反应均生成硅酸二钙水化物, 不溶于水, 即形成水硬性材料。

#### 1.2.2 水玻璃与水泥的反应

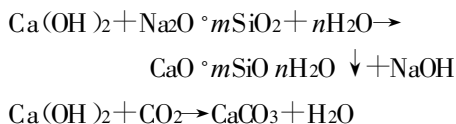
水泥与水玻璃反应连续发生, 胶质体的强度不

[收稿日期] 2003-03-17

[基金项目] 交通部西部重点交通建设科技项目

(200131881213)

断提高,其早期强度是水玻璃和水泥水解产生活性氢氧化钙以及硅酸盐水化物。后期强度主要是碳酸化反应生成不溶于水的碳酸钙,生成速率缓慢,是后期强度持续增长的主要原因。其反应方程式如下



## 2 注浆法主要设计参数

### 2.1 加固洞穴的勘察与试验

注浆前首先必须到现场取样,测得各项物理及化学性质指标。此外还需要在现场查清各土层的地下水压力、地下水位、地下水流向,洞穴的深度、宽度、洞穴的类型等。在查清上述各项指标的基础上选择并确定适当的浆液种类、注浆方法、注浆孔位置、注浆顺序、注浆量等施工指标。

### 2.2 洞穴预处理

洞穴在注浆之前可用粗砂或天然砂砾与水泥或生石灰粉混合填充其中的空隙。水泥或石灰与粗砂、天然砂砾按一定的比例拌匀后通过钻孔填充于洞穴之中,水泥比例为砂砾的5%~8%,石灰比例为8%~10%<sup>[4]</sup>。当仅依赖混合料自重作用使洞穴难以充填密实时,可采用振动方法使其达到密实。

### 2.3 浆液用量

注浆量是比较难确定的指标,它与土质情况、土层孔隙浆液的渗透性注浆方法等多种因素有关,在实际工程中往往以现场的注浆实验确定,也可以采用下式来估计<sup>[5]</sup>

$$Q = kV,$$

式中: $Q$ 为注浆量( $\text{m}^3$ ); $k$ 为注浆系数,一般取值0.12~0.2,压实度 $\geq 90\%$ 时取0.12,压实度85%~90%时取0.13~0.15,压实度 $< 85\%$ 时取0.16~0.2; $V$ 为加固土体的总体积( $\text{m}^3$ )。

### 2.4 注浆流量和注浆压力

注浆流量和注浆压力与土质种类、透水性、注浆速度、注浆方法等因素有关,一般参考现场实验或据已有的经验来确定。一般情况下注浆流量应配合注浆压力来调整,注浆初期土层吸收浆液能力强,压力可以较小,随着土体吸收量减小可以逐渐增加流量增大压力,使其处于最佳的吸收状态,注

浆接近结束时可适当增大注浆压力。一般认为最大容许注浆压力为20 kPa/m,即注浆压力大约等于注浆点位置以上土层厚度的压力。

当缺乏试验资料,可用理论公式来确定容许压力,如在砂砾中注浆时可参照下述公式<sup>[6]</sup>

$$[P_e] = c(0.75d + k\lambda h),$$

或

$$[P_e] = \beta\gamma d + ck\lambda h,$$

式中: $p_e$ 为容许注浆压力( $10^5\text{Pa}$ ); $c$ 为与注浆期次有关的系数。第一期孔 $c=1$ ,第二期孔 $c=1.25$ ,第三期孔 $c=1.5$ ;  $d$ 为地基覆盖层厚度(m); $k$ 为与注浆方式有关的系数,自上而下注浆时 $k=0.8$ ,自下而上则 $k=0.6$ ;  $\lambda$ 为与地层性质有关的系数,可在0.5~1.5之间选择。结构疏松、渗透性强的取低值;结构紧密、渗透性弱的地层取高值; $h$ 为地面至注浆段的深度(m); $\beta$ 为系数,在1~3范围内选择; $\gamma$ 为地表面以上覆盖层的厚度(m)。

### 2.5 注浆半径及注浆孔的确定

要确定注浆点的位置和注浆点数量必须首先确定单孔的注浆影响半径<sup>[3]</sup>,对于一般路基加固半径为1.0~2.0 m,注浆压力为0.1~0.3 MPa;而对于双液注浆(水泥浆加水玻璃)加固半径为1.0~1.5 m。

## 3 工程实例

西部某一级公路K55+220~320段路线穿越居民区,地形比较平坦。居民旧的住宅主要以土窑洞为主,院落的布置主体为:在比较平的地面向下挖一矩形院落,然后在院子的四个方向挖土窑洞,一般在主要窑洞内又套支洞作为储藏粮食或其他物品的仓库。路基施工时由于院落较小,大型压实机械不易施工,支洞填土更不易压实,在路基下方形成了洞穴。公路通车以后在填土荷载行车荷载的作用下,窑洞范围内路基沉陷,并伴随有裂缝,养护部门多次用沥青混合料修补,但问题没有得到彻底的解决,直接影响车辆的正常运营。

### 3.1 技术方案

通过钻孔取样及地质雷达测定,发现该路段下存在洞穴、填土不密实等问题。对其采用两种处理方案,其一对于空窑洞,先用天然砂砾填充后再采取注浆法填充剩余空隙,其二对于回填不密实的窑洞直接采取注浆挤密方法加固。由于受施工中检测手段限制,对于路基下的窑洞只能提供一个大概

位置,窑洞内其他情况无法具体知道。故在具体施工时,首先需要试探性钻孔寻找空窑洞,若钻孔下有较大的空洞时认为此处可能存在未填满的窑洞或空窑洞,在此钻孔四周继续打孔,最终确定窑洞具体位置。然后在洞穴处注入天然砂砾,将空窑洞填充完全,再进行注浆施工。

### 3.2 技术指标

砂砾靠自重灌入洞内受摩擦角的影响,拟定砂砾灌入孔的间距为 1.0 m,路基下含水量较大,且注浆时又会有水进入,为了防止黄土湿陷造成洞穴坍塌,灌入水泥、生石灰和砂砾的混合料<sup>[7]</sup>。配合重量比为:水泥:生石灰:砂砾=6:10:84。注浆加固半径定为 2.0~3.0 m,注浆的浆液水灰比采用 0.8。

### 3.3 工程施工概况

1997 年 7 月 8 日进场至 7 月 28 日施工完毕,共发现空窑洞 5 处,灌填水泥砂砾 454 m<sup>3</sup>,注浆 1 550 m<sup>3</sup>。

### 3.4 注浆效果

注浆工程完工后,采用钻孔取样方法进行充填浆液观察和试验,从钻孔取样情况看,浆液分布较为均匀,砂砾石空隙中浆液分布较多,效果良好,通车至今,未发生任何病害。

### 3.5 经济效果分析

对该地区黄土路基中的洞穴采用不同处理方法的经效果进行比较。若采用换填法来进行处理工程造价为 161.0 万元,而注浆法的处理费用仅

为 63.5 万元,节约的费用为 98.0 万元。若考虑采用换填法处理时在施工期间损失的通行费用 20.0 万元,则注浆法的净效益为 218 万元,按交通部颁发的《工程可行性研究办法》规定方法计算,其社会效益为 276 万元,则注浆法处理总的效益为 494 万元。

## 4 结语

黄土地区修筑公路,由于受土质和筑路技术等各种因素的制约和影响,在路基中产生洞穴是较为普遍的现象,采用注浆法加固是防治这一病害的有效方法之一。

### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 关文章. 湿陷性黄土工程性能新篇[ M ]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.
- [ 2 ] 地基处理手册编写委员会. 地基处理手册[ M ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
- [ 3 ] 李治平. 压浆法加固黄土地区公路路基的应用[ J ]. 内蒙古公路与运输, 2000, (3): 9~11.
- [ 4 ] 吴永麟主编. 地基处理[ M ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [ 5 ] 王杰, 杜嘉鸿. 岩土注浆技术的理论探讨[ J ]. 长江科学院院报, 2000, 17(6): 82~86.
- [ 6 ] 河北省宣大高速公路管理处. 黄土地区高速公路施工新技术[ M ]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [ 7 ] 高凌霄. 西安地区黄土湿陷性统计分析[ J ]. 西安工程学院学报, 2000, 22(增刊): 75~78.

## Grouting applied to treatment of roadbase cave in loess areas

LI Xun-chang, MEN Yu-ming, LIU Ni-na, LIU Ying-pu

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** The principle and index that roadbase cave in collapsing loess areas treated by grouting are studied. There are so much harmness in highway caused by cave in roadbase in collapsing loess areas, however, there are still lack of an excellent way to make up of it. Based on lots of survy and futher study, the parameter of design is suggested. After analysis the data on spot, it is concluded that grouting is an effective method.

**Key words:** loess; cave; grouting; roadbase; highway

(英文审定: 苏生瑞)