

# 低压旋喷注浆加固地基技术

湖南省煤炭科学研究所 王厚福

**提 要** 厂房地基塌陷、开裂、地面下沉,采用低压旋喷注浆技术,收到了密实土层,增强土体稳定性,防止地面塌陷的效果。文中介绍了低压旋喷注浆的方法。

某制造雷管炸药工厂,面积 $0.45\text{ km}^2$ ,有生产厂房127栋,分别按火工生产安全距离要求,分散在茅口灰岩风化残积红土溶蚀隐蔽地形之中。由于附近煤矿开采排水,地下水大幅度下降,1970年起生产区陆续有10栋工房塌陷,开裂,地面下沉共20次,1985年以来,塌陷规模扩大,频率增高,严重危及火工生产及人生安全。1986年,我们对该区进行了工程地质勘察,查明了区内水文工程地质条件,分析了地面塌陷形成机理,认为形成区内塌陷的重要因素是地表水的潜蚀动力作用所致。在此基础上,我们采用了低压旋喷注浆技术,对土体土洞注浆,对裂缝充填、加固,防渗效果良好。特别是经受了1990年6—7月份的连续降雨期的考验,此期间毗邻的煤矿地面先后发生大面积塌陷,导致了淹井灾害,而本地区的工房毫无异常迹象,保证了安全生产,充分说明了我们采用低压旋喷注浆技术治理地面塌陷是有效的,方法是可行的。

## 一、低压旋喷注浆方法及工艺

该厂生产区茅口灰岩浅部岩溶甚为发育,钻孔岩溶可见率达 $80.55\%$ ,岩溶率 $9.3\%$ ,标高 $+100\sim+160\text{ m}$ ,单个溶洞高 $0.2\sim 13.96\text{ m}$ ,且相互连通。同时茅口灰岩地下水水位因受储矿井疏干影响,已经下降到基岩面以下数十米,随着地下水的下降及地表水向土层的动力潜蚀作用,不仅溶洞充填物徐徐流失,而且对基岩面以上土层进行掏蚀搬运,土层内土洞逐渐发育,据钻孔统计,土洞可见率达 $27.78\%$ ,使第四系土层结构受到破坏而变得松散。因此本次注浆主要是增加土层抗水蚀能力和对抗地表水渗透能力。密实土层,增强土体的稳定性。为达到防塌注浆的预期效果,在注浆方法上我们采用喷射、定点、定时、旋转连续注浆法。

### 1. 方法原理

本方法类似旋喷桩法原理(日本称CCP工作法),该法主要借助于高速喷射水束对土层的冲击破坏,实现土体的崩塌解体,并与水泥浆液混凝,形成一定直

径的砼摩擦桩柱。CCP工作法要有专门大型设备,水泵压力一般要求在 $10\sim 20\text{ MPa}$ ,所形成的桩柱直径在 $0.5\sim 1\text{ m}$ 左右。

根据本区的土质和设备条件难以满足CCP工作法的要求,我们在低压旋喷注浆方法上,采用喷射、定点、定时连续旋转注浆法。

为了取得最佳破坏力,除决定喷咀截面积和水束速度外,喷咀过水长度是一项很重要的参数,它决定水束离开喷咀后的状态,按照在空气中的试验,在选定双喷咀直径为 $5\sim 6\text{ mm}$ 的条件下,喷流状态如附表。

喷咀长度(mm)	$\leq 5$	$5\sim 13$	$\geq 13\sim 21$
喷流状态	雾状	束状,束长 $0.5\sim 1\text{ m}$	束状,束长 $1\sim 1.5\text{ m}$
土质(N)	$25\sim 30$	$25\sim 30$	$25\sim 30$
溃击时间(min)	5	5	5
对土体溃击深度(m)	$0.1\sim 0.2$	$0.2\sim 0.25$	$0.25\sim 0.35$

定点定时,利用低压( $2\sim 2.5\text{ MPa}$ )喷咀水束固定一个点,溃击一定时间达到或超过CCP工作法对土体溃击深度的效果。根据地表试验结果,定时喷射溃击 $5\text{ min}$ 为最佳时间,在此时间内,定点方向以仰角为适宜,在溃击土体过程中,还可产生水束反击、负压吸蚀和重力崩脱作用。加速土体破坏,扩大喷射效果,其仰角以 $25^\circ$ 为最佳。

连续旋喷,注浆器的喷咀,在某一定点注浆完毕后,顺时针方向转动一个角度,提升一定距离,再作定点定时注浆,继而旋转提升连续作业,形成在以注浆孔为轴线,在空间呈螺旋状砼支杆。随着旋转角和提升高度的减少,砼支杆将愈来愈靠近,以致相互衔接成为一完整的砼柱体。

### 2. 注浆参数及工艺

为有效地应用喷射定点定时连续旋转注浆,可根据注浆目的,选择不同的工艺参数。

本次工程采用注浆参数:

定点提升距 $H = 0.08\text{ m}$ ;

注浆钻杆 (φ42) 周长  $L = 2\pi r = 0.132\text{m}$ ;

定时  $t = 5\text{min}$ ;

定点喷射点数  $n = 1/H = 1/0.08 = 13$ ;

钻杆转动距  $S = 1/n = 0.132/13 \approx 0.01\text{m}$

转动角  $Q = 360^\circ/n = 28^\circ$

每米注浆时间  $T = nt = 5 \times 13 = 65\text{min}$

在设计射程 (0.8m) 内形成桩控制半径

$$r = \sqrt{E/4n\pi} = 0.18\text{m}$$

按上述参数, 高为 1 m 的注浆点展示图如图 1。

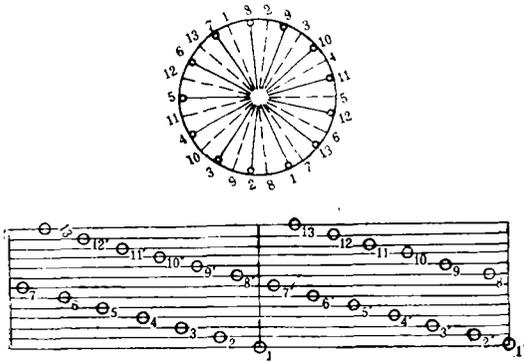


图 1 螺旋形喷浆点展示图

展开图条件: (1) 浆液射程为 1 m; (2) 65 min 注浆 1 m; (3) 每点提升距为 0.08 m; (4) φ42 钻杆转动距 0.01 m; (5) 每点定时为 5 min

本方法使用的注浆器用 45° 圆钢加工, 喷咀用硬质合金钢拉丝模制, 其结构和尺寸参见图 2。

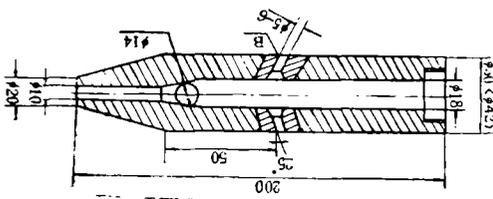


图 2 注浆器组装图 (双喷咀)

在注浆过程中, 为了充分灌注土洞、溶洞裂隙体, 凡在定点注浆时, 遇有吃浆量大或出现不返浆时, 则不受 5 min 的限制, 应注到返浆才能旋转提升位置, 或者进行闷压注浆, 直到压力回升到正常旋喷压力 (2—2.5 MPa) 为止。为了在注浆过程中不发生烧、卡、埋钻现象, 应活动注浆钻杆, 或适当降低浆液浓度, 水灰比为 1.25:1 或 1.5:1。

对于土质致密、抗溃击性强的粘土, 吃浆量少, 出现井口返浆或旋转注浆时, 浆液由土层裂隙中冒出

地面, 可以采取闷压的方法, 强制灌注 30 min 左右或见地面冒浆为止。可以不连续进行定点旋喷注浆, 也可以采取分段用清水定点定时连续旋喷, 然后自下而上, 按 10—15 min 提升 1 m 的速度进行均匀旋喷注浆, 直至井口或地面返浆为止。

### 3. 浆液要求

由于本区土质含砂砾量大, 成分以燧石等碎块为主, 因而浆液中不需另加骨料, 采用单一水泥浆喷注。为了增强可灌性和流动性, 延缓凝结时间, 注浆时一般先稀后稠, 水灰比为 1.5:1、1.25:1、1:1、0.75:1, 最常用的为 1:1。并加配适量塑化剂食糖 (为水泥重的 0.03%—0.05%), 在充填土洞、溶洞或地面冒浆时, 水灰比调至 1:1—0.5:1, 必要时加入速凝剂, 配比为 2.5%—3% 的氯化钙或 4.5% 水玻璃。

### 4. 注浆要求

按照设计一般均采用一孔到底一次性由下而上的上行式注浆法。但由于本次注浆为加固地基的载荷强度, 钻孔一般布置在建筑物毛石基础最近的位置, 当孔深 5 m 以内注浆时, 往往沿毛石基础松散或空隙带发生大量地面冒浆, 造成浆液浪费, 也影响下层注浆效果, 为此改为两次分段注浆, 即地表 5 m 左右作第一次注浆, 其方法采用上行式, 定点定时连续旋喷注浆, 遇有井口返浆或地面冒浆时, 及时加入适当速凝剂进行闷压, 达地面返浆止, 待浆液初凝后 (4—12 h), 再套孔钻进, 直到基岩面进行第二次注浆 (方法同前)。

### 5. 注浆压力及终注标准

正确掌握注浆压力是注浆工艺的关键, 在确保地面不出现变形、隆起和对周围建筑物不产生不良影响的前提下, 应尽量提高注浆压力, 根据本区土质特征及施工队伍的现有设备, 本期注浆压力值为: 第 1 注浆段旋喷闷压压力为 0.5—2 MPa; 第 2 注浆段旋喷闷压压力为 2—2.5 MPa; 闷压注浆工作压力高于正常压力 0.1—0.2 MPa。

注浆通用闷压压力表示:

$$P = 5.5(H \cdot \gamma)$$

式中:  $H$ ——注浆段上复土层厚度 (m);

$\gamma$ ——土的密度, 本区取  $0.91\text{t/m}^3$ 。

本工程注浆终注标准: 凡满足下列条件之一者均可终注。

- (1) 地面充分出现冒浆点;
- (2) 单位长度浆液消耗量不超过  $5\text{L/m}\cdot\text{min}$ ;
- (3) 终注闷压时压力高于正常压力  $0.1—0.2\text{MPa}$ , 且稳定 30 min。

注浆压力曲线参见图 3。

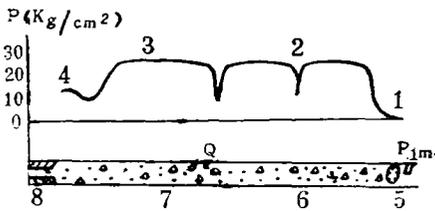


图 3 注浆压力曲线  
 1—不返浆段(0—低压线); 2—裂隙吃浆段; 3—正常喷射压力段; 4—终注压力段; 5—土洞、溶洞;  
 6—土层裂隙; 7—正常土层; 8—止浆井口

### 二、注浆孔布置与施工

本次治理实施注浆孔 169 个钻孔, 均是按照为提高建筑物基础的稳定性和消除土层塌陷的内在隐患进行的。

#### 1. 注浆孔位

凡属加固治理工房, 多数孔位离墙基距均小于

0.3m, 个别孔达到 0.45m, 重建工房的孔位均与新挖基础中心重合, 孔位分布均匀, 孔距 5—7m; 岩溶预测发育区和古地貌负地形, 也有相应的孔位控制; 对于地面严重变形、塌陷, 或经揭露土洞, 岩溶发育, 吃浆量大的个别地段, 进行了钻孔加密, 加密距达 2—4m, 实际钻孔布置考虑了各种因素, 尽量减少漏注范围。

#### 2. 钻孔施工

钻孔施工按设计要求进行, 钻探方法分冲击和回转钻进两种形式。孔口埋入 1m $\phi$ 146 钢管作井口管, 土层孔径一律为 130mm, 基岩为  $\phi$ 91mm 终孔。全区平均孔深 20.49m, 孔斜一般 0°—1°, 终孔层位为茅口灰岩顶界面。有疑义孔要求取心土层采取率平均 86.4%。同时按要求完成了土层注水试验 5 孔 5 层次, 采用定水头注水法。N63.5 标贯试验 21 孔 84 次。凡注浆孔施工均采取了间隙交叉的方法。以保证注水泥浆的凝固时间。现场编录做到及时准确, 内容齐全。

## Foundation Consolidation Technique of Low Pressure Jet Grouting

Wang Houfu

Hunan Provincial Institute of Coal Sciences

**Abstract** Low pressure jet grouting technique is adopted to consolidate soil formation, improve its stability and avoid surface subsidence in case of building foundation subsidence, crack and surface subsidence. The paper introduces the operation method of this technique.

#### · 小改小革 ·

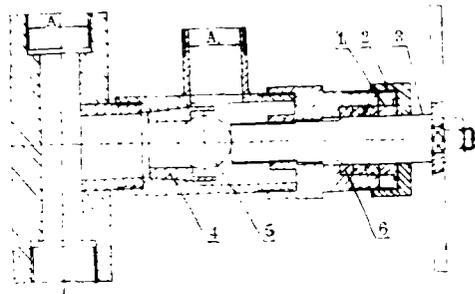
### 球阀式三通

贵州省地矿局 102 地质队 杜家洲

泥浆钻进时, 由于泵压高, 泥浆泵三通磨损、冲刷较严重, 因此, 三通故障多, 修理十分频繁, 消耗了大量时间。为此, 我们设计了一种球阀式三通。1990 年在某硫铁矿区, 在倾角分别为 76° 和 75°, 孔深分别为 425.39、370.03 m 的两个孔中试用, 效果良好。这种三通具有体积小、重量轻、结构简单、加工方便、修理快、调节灵活、性能可靠、使用寿命长等特点。因此, 深受大家欢迎。

**工作原理** 向下调节螺杆, 顶住钢珠, 封闭回水通道, 则泥浆流向孔内; 向上调节螺杆, 高压泥浆顶开钢珠, 则一部分泥浆流向回水管。

**结构特点** 封闭机构, 采用变量泵钢珠与进水阀座, 更换方便。全泵钻进时, 三通仅当接头使用, 无高压泥浆冲刷其它部件。当孔内憋泵时, 三通会发出刺耳的尖叫声, 起报警作用。其结构如图所示。



球阀式三通结构示意图

- 1—胶圈调节压盖; 2—压盖调节圆螺母; 3—水量调节阀螺杆; 4—变量泵进水阀座; 5—变量泵钢珠( $\phi$ 42mm); 6—水龙头胶圈

A—38.1mm (1 1/2in) 的水管丝扣