

文章编号: 1006- 2106( 2000) 02- 0103- 06

# 海底液化气储气洞库控制渗漏水技术

赵喜斌\*

(铁道部隧道工程局 第一工程处,河南 新乡 453000)

提 要: “控制洞室渗漏水”是海底储气洞库施工过程中最重要的工作之一,本文介绍汕头 LPG ( Liquefied Petroleum Gases)集散中心工程海底储气洞库施工中注浆止水控渗的做法和认识,为以后类似工程的建设积累经验 and 借鉴。

主题词: 渗漏水; 控制技术; 液化气; 海底储气洞库

中图分类号: U455. 49 文献标识码: A

## 1 工程简介

汕头 LPG集散中心工程是由美国 COGEL在中国广东汕头广澳半岛南海岸修建的年吞吐能力为 1 000 000 的液化石油气集散中心设施,由海底储气洞库、油轮集散码头、输油管线等单位工程组成,其中海底储气洞库是该项目的主体工程,是目前国内修建的首例应用水幕技术利用海底裸岩洞室储藏液化石油气的新项目,有许多技术和工艺是首次在国内地下工程中应用。

储气洞库由交通洞、水幕洞、作业竖井、集水井、壁洞、储气洞、水幕钻孔、监测、仪器井等项目组成。工程所处的广澳半岛由侏罗纪到白垩纪的岩浆岩质的基岩组成,其代表岩层为中、粗粒黑云母花岗岩。主岩层中有酸性矿脉(磷灰石、粗石岩、细晶岩、石英斑岩)和中间岩脉(闪长岩、辉绿岩、煌斑岩)侵入,节理、层理、裂隙发育。有三条大的断层带穿过洞室最后入大海。在洞室掘进过程中,还遇到了其它若干个局部岩石软弱破碎区段。主岩层和岩脉相接处存在着大的张缝。

本工程区域内的地下水位较高,主要水位变化的范围为+ 6 m/s. l~ + 43 m/s. l。主岩的岩质紧密,渗透率较低,渗透系数  $K$  一般在  $10^{-12}$  m/s 和  $10^{-9}$  m/s 之间,但节理处的渗透率很高 ( $K > 10^{-6}$  m/s)。在岩脉、断层、破碎带、裂隙及张缝处,地下水富积,在洞室开挖过程中,曾遇到了 12次大的涌水,涌水量  $Q$  在  $200 \text{ m}^3/\text{h} \sim 540 \text{ m}^3/\text{h}$  之间。

## 2 裸岩储气原理及控制洞室渗漏水的特点

储气洞库不铺衬任何防渗透材料,其使用期间的的气密性由“流体动力防渗透原理”来保证,该原理的基础是存在一个自然水位线,这个水位线靠利用水幕系统来维持和保证。在整个施工期间,必须监测并维持地下水位线和孔隙压力,采用钻探孔对掌子面前方工程地质及水文地质探测和对围岩注浆的技术,把往洞室内的排水降到允许的限度,以维持洞室在开挖期间所必需的地下水位和孔隙压力。“防、控”是储气洞施工治水的根本原则和特点。

注浆是储气洞施工中最重要工艺之一,它分渗漏控制注浆、孔隙填充注浆、接触注浆、固结注浆、附加注浆或残余注浆等注浆操作类型,其中“渗漏控制注浆”是用以减小洞库某一区域地下水的渗漏,是注浆工作的“重中之重”。如果“渗漏控制注浆”技术不成功,而使地下水位线下降到临界状态以下,则整个储气工程将废而无用。

## 3 渗漏控制注浆的类型及工艺

洞室渗漏控制注浆主要有预注浆和后注浆两种操作类型,预注浆又分探孔注浆和扇形注浆,后注浆是对工作面之后的残余渗漏或为进一步减少开孔对水文地质质态模式的影响而所进行的附加注浆。

\* 收稿日期: 2000-01-08 赵喜斌, 19 年出生, 工程师

### 3.1 预注浆的标准程序和工序关系 (见图 1所示)

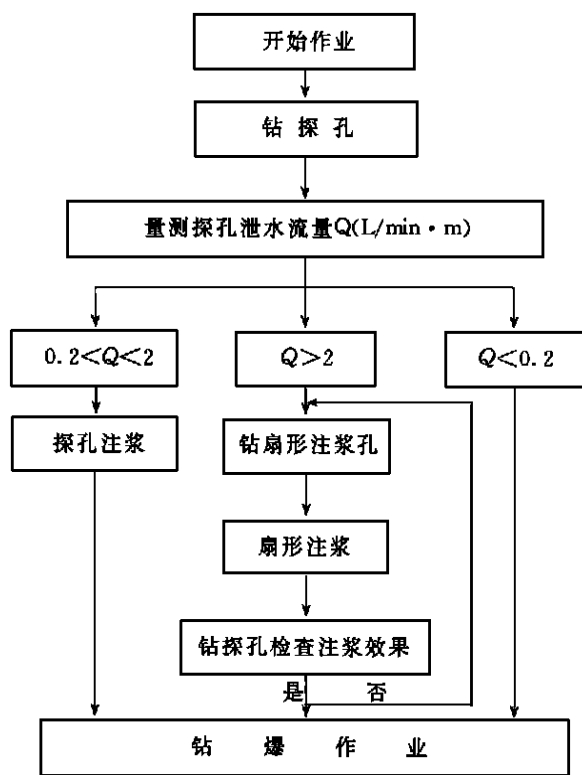


图 1 注浆程序和工序关系图

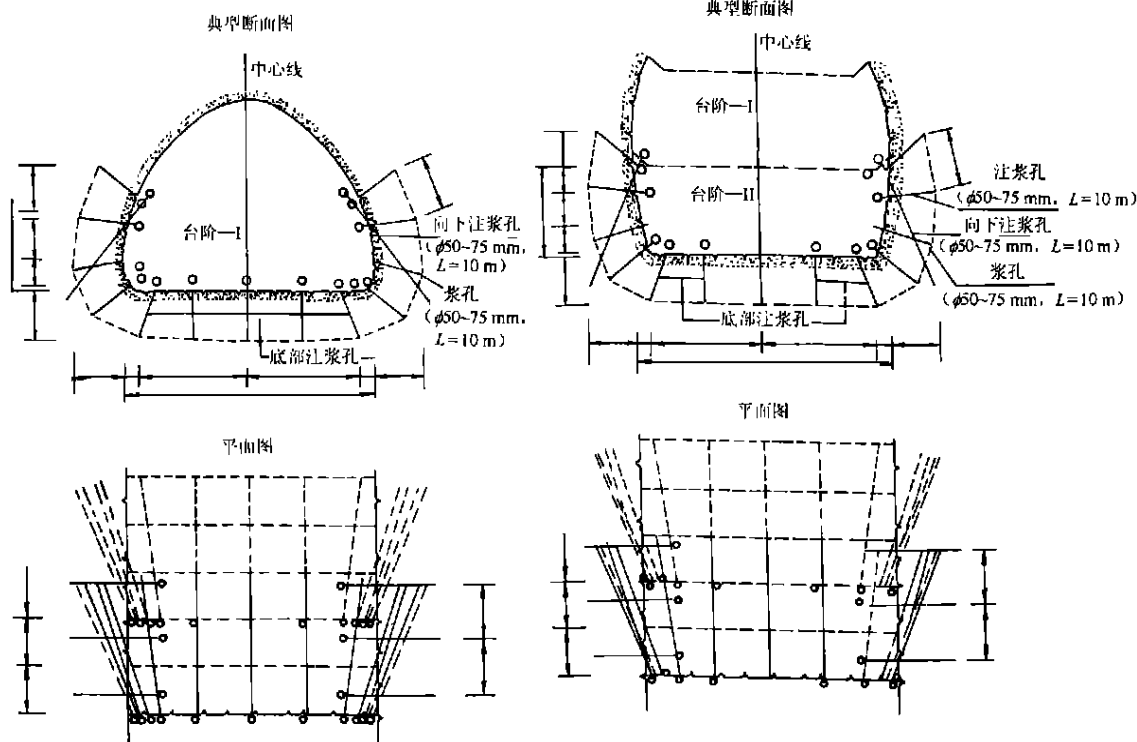


图 2 探孔和扇形注浆孔标准布置

### 3.2 探孔和扇形注浆孔的设计 (见图 2)

### 3.3 注浆工艺程序及作业要点

注浆工艺程序见图 3

作业要点:

#### 3.3.1 钻孔作业

(1) 注浆孔定位放样 为了穿过含水节理,在决定了钻孔位置和方向后,钻孔前,应按设计正确地在洞室岩面上画出钻孔的位置并编注编号。

(2) 钻孔及清孔。利用三臂液压凿岩台车 (353E) 进行钻孔,使用连接套接长钻杆以钻到设计深度,用高压风和高压水将成孔清洗干净。

(3) 钻孔的技术参数 孔径取决于栓塞直径,采用的栓塞多为 C-48 型,钻孔直径  $\phi = 51 \text{ mm}$ ; 探孔长度  $L = 10 \sim 20 \text{ m}$ ,以不小于每循环爆破进尺的三倍为原则; 扇形注浆孔长度  $L = 10 \text{ m}$ ; 深孔注浆孔最长达  $24 \text{ m}$  深; 探孔平行于洞室地板,扇形注浆孔的角度和方向以使孔底端的位置在洞室开挖轮廓线外  $3.5 \text{ m}$  处和邻孔底端的间距为  $4 \text{ m}$  为原则; 探孔的数目一般为  $1 \sim 2$  个/每循环,扇形注浆孔的数目取决于洞室掌子面面积的大小,以浆液扩散不使洞体  $4 \text{ m}$  厚范围内的裂隙出现空白为原则。见图 2。

#### 3.3.2 注浆作业

采用的注浆方式有单液注浆和双液注浆两种。单液注浆所注的浆材是以水泥为主,添加一定量的附加剂 (稳定剂等) 与水混合配制成的浆液; 双液注浆所注

的浆材是水泥浆和水玻璃按一定的比例混合而成的浆液。

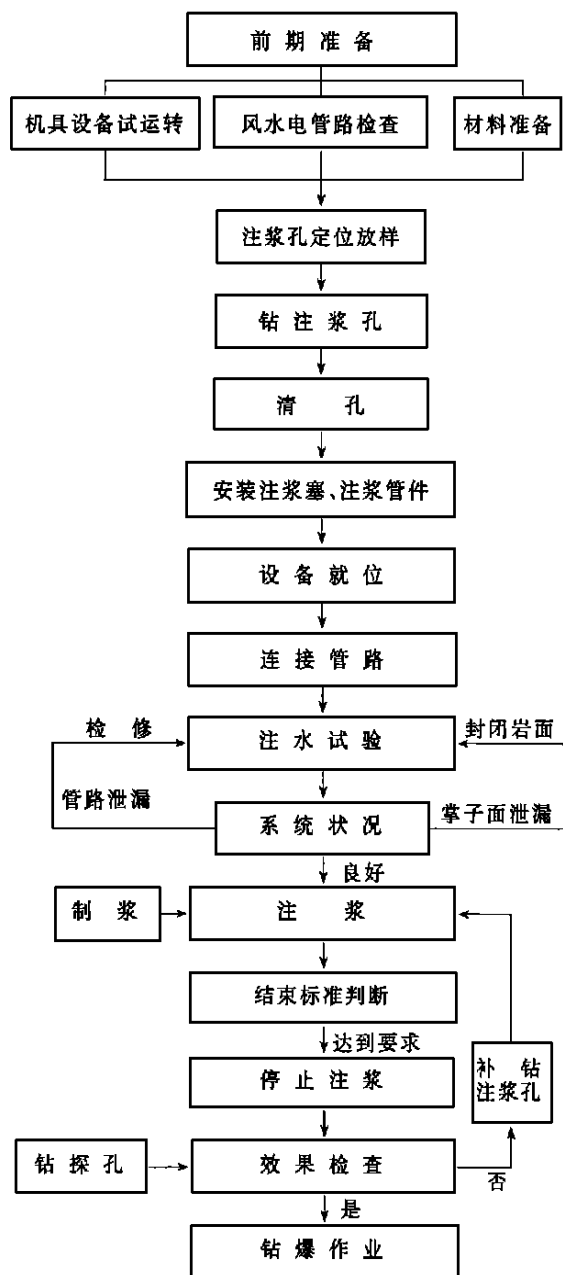


图3 注浆工艺流程

普通硅酸盐水泥具有结实体强度高、抗渗性能较好、料源广、价廉、无毒、易操作等优点。但存在着可灌性差、结实率低、凝结时间长、早期强度低等不足。主要用于渗透率较高 ( $K > 10^{-6} \text{ m/s}$ ) 岩层的止水控渗注浆, 是预注浆的主要浆材。

水泥浆-水玻璃浆液是一种水硬性浆材, 它具有早期强度高、结实率高、凝结时间可控性强、防渗性能好、料源广、价廉、无毒等优点。但存在着操作要求严、可灌性差 (比普通硅酸盐水泥浆好)、结实体后期强度低、耐久性差等不足, 主要用于堵大的涌水或跑浆严重的围

## 岩浅层封闭注浆

微粒水泥浆具有流变性好、可灌性好、凝结时间可调、结实率高、结实体强度高、无毒、使用简易安全等优点。主要用于进一步减少微裂隙带的残余渗漏注浆。

### (1) 注浆材料

用于注浆的材料主要有普通硅酸盐水泥、水、浆液稳定剂、水玻璃、微粒水泥等。

普通硅酸盐水泥: 选用 525<sup>#</sup> 普通硅酸盐水泥。细度 4.4% (80 $\mu\text{m}$  筛余), 初凝时间 100 min, 终凝时间 170 min, 抗折强度 5.2 MPa (3天), 抗压强度 28.6 MPa (3天)。

水: 采用生活用水, 水质满足技术规范要求。

水玻璃: 选用液-5型硅酸钠。密度为 1.526~1.599 g/cm<sup>3</sup>, Na<sub>2</sub>O 含量  $\geq 12.8\%$ , SiO<sub>2</sub> 含量  $\geq 29.2\%$ , Fe 含量  $\leq 0.05\%$ , 水不溶物  $\leq 0.8\%$ , 模数 (分子比) 为 1:2.2~2.7, 浓度 51 Be $\prime$ 。

浆液稳定剂: 是用于稳定浆液的添加材料, 使用的稳定剂有膨润土和 RHEO BUILD 1100 型混凝土高效减水剂两种。

微粒水泥: 采用 MC 型超细水泥,  $d_{90} \leq 20\mu\text{m}$ ,  $d_{50} \leq 6\mu\text{m}$ , 比表面积在 800~1200 m<sup>2</sup>/kg 之间。它的浆体可以灌入的最小缝隙宽度为 50 $\mu\text{m}$ , 也可以灌入细度模数  $M \geq 0.86$  的特细和粉细砂层, 其胶砂强度可达 60 MPa 以上。

### (2) 浆液配合比

水泥浆: 水泥浆是含有一定稳定剂的稳定浆液。水灰比一般为 3~0.8, 膨润土含量 1.4%~2% (水泥重量); RHEO BUILD 1100 减水剂含量 2.5% (水泥重量)。其它技术指标: Marsh 漏斗粘度 35~60 厘泊, 其张开度 4.74 mm; 两小时的沉淀量  $\leq 2\%$ 。

水泥-水玻璃双液浆: 体积比 (C/S) 为 1:0.4~1:1, 其中水泥浆液的水灰比 (W/C) 为 1:0.6, 水玻璃浓度为 35 Be $\prime$ 。

浆液配比的控制: 在注浆操作过程中, 浆液的配合比要根据地下水的泄流量及水压、注浆阶段、注浆压力、岩体的透水性、岩性及涌漏水的特点、凝胶时间要求等因素来确定和调整, 一般采用“先稀后稠、逐级变换”的原则进行调整和控制。

### (3) 凝胶与凝结时间的控制

水泥浆液 (W/C=1/1) 的初凝时间约 5 h 左右, 终凝时间约 8 h 左右。采用附加添加剂 (复合剂三乙醇胺和氯化钠的掺量分别为 0.3%、0.3~0.5%) 的办法来加快浆液的凝结时间。

水泥-水玻璃双液浆的凝胶时间可从几秒到几十秒, 可控可调, 主要取决于岩体情况、涌漏水情况、注浆

管路长度、浆液扩散半径的要求等因素。双液注浆采用的凝胶时间为 15 s~ 3 min。施工中,采取以下两种操作方式进行调节和控制:

(a) 水灰比固定,水玻璃浓度不变,变换双浆的比例 (C/S)。

(b) 双浆比例固定,水玻璃浓度不变,变换水灰比 (W/C)。

W/C、C/S与双液浆凝胶时间的关系见图 4、图 5 所示。

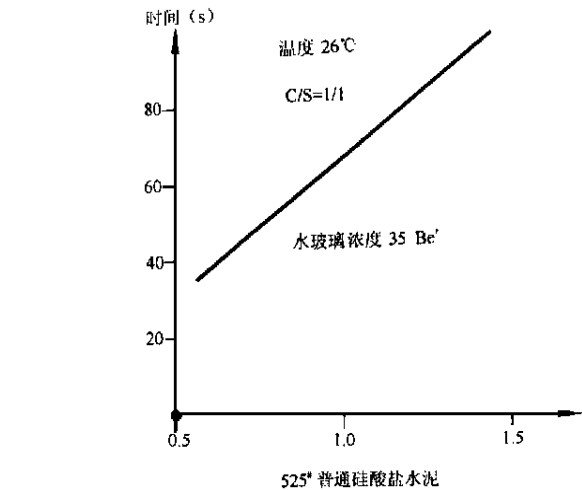


图 4 W/C对凝胶时间的影响

(4) 注浆系统

采用的注浆系统有单液单系统 (用于单液注浆) 和双液单系统 (用于双液注浆) 两种,由高速搅拌机、搅拌桶、储浆桶、高压注浆泵、高压阀、管塞系统 (高压软管、连接器、注浆钢管、止浆塞)、双液混合器及电脑记录仪、压力表等设备机具仪器组成。注浆系统要满足注浆施工的要求。注浆系统计算机化,使用电脑对注浆数据进行连续监测。止浆塞采用单向膨胀式橡胶塞。胶管与钢管的连接采用快速连接器。主要的注浆设备、机具见表 1。

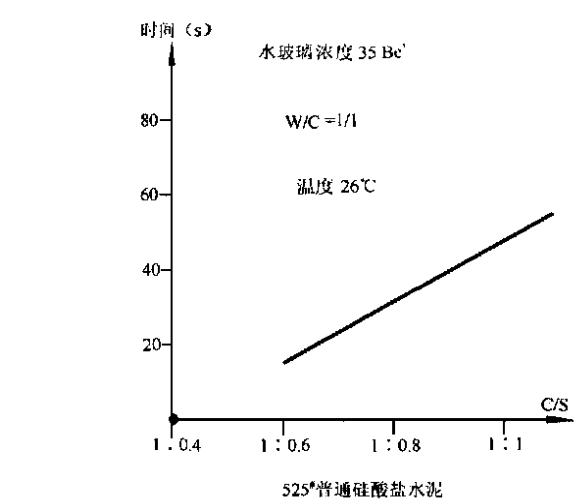


图 5 C/S对凝胶时间的影响

表 1 主要设备、机具配置表

名称	型号/规格	数量	备注
注浆泵	瑞典产 ZBE-02型,单液排量 0~90 L/min,压力 0~100 bar	4台	可用两台配成双液单系统
搅拌机	瑞典产 200E型灰浆搅拌机	4台	与 ZBE-02注浆泵配套使用
搅拌桶	瑞典产灰浆搅拌桶	4台	
铁皮桶	容量 0.5 m <sup>3</sup>	3个	2个储浆桶,1个清水桶
混合器	T型 φ25 mm		双液注浆用
胶管	高压 φ25 mm, L 5~10 m	8根	混合段尽量短
记录仪		3台	接单液管
高压阀	φ25 mm		

注浆系统的布置要合理整齐,便于施工操作。

(5) 水泥浆液的拌合程序

- ① 启动拌合机并向机中加水;
- ② 向拌合机中加入水泥,并连续搅拌;
- ③ 向拌合机中加入稳定剂,并连续搅拌 3 min;
- ④ 把浆液倒入搅拌桶中,并一直缓慢搅动;
- ⑤ 把搅拌桶中的浆液倒入储浆桶中供注浆之用。

(6) 注浆压力和流量控制

控制每个孔的注浆压力和流量都是十分必要的,每次注浆之前,都必须认真考虑,需预定注浆的终止压力和进浆量。通过在注浆系统中安装压力计和流量计来进行检测和控制。

注浆压力与围岩状况 (渗透性、强度、结构等)、洞室埋深、涌漏水压力、浆液材料及凝胶时间等因素有关。一般情况下,采取的注浆压力高出地下水压力 5~10 bar。在遇到下述的特殊情况下,采取了更高的注浆压力 (> 30 bar),取得了有效的、快速的注浆效果,达到了洞室止水控渗的目的:

- ① 在渗透率低于 10<sup>-6</sup> m/s 的岩体中处理微渗漏水时,注浆压力应达到足够高以便扩大裂隙,使水泥浆能够穿透裂隙;
- ② 岩石裂缝发育严重,且裂缝充填物为粘土或其它细粒物质,在这种特殊岩体中处理渗漏水时;
- ③ 在堵塞特大涌水所进行的深孔注浆时等。

(7) 注浆方法

注浆系统准备好后,按选定的参数配制浆液。开阀门,启动注浆泵按照先稀后稠、先大后小、先注单液浆后注双液浆的程序注浆。当注浆压力和进浆量达到设计值时则停止注浆,此时要迅速将吸浆管放入清水桶

中吸水,打开三通混合器阀门排浆减压,快速分离软管和硬管的联接,关闭孔口阀门,待注浆管中流出清水后停机,并用清水对注浆系统进行清洗整理。施工程序和注浆系统布置形式详见图 3 图 6 所示

#### (8) 注浆方式

一般情况下,注浆方式采用全孔一次压入式。在水量、水压较大的情况下,采用分段分层泄水减压、分段分层注浆的方式。注浆作业应遵循“由上而下、有里向外、先碎(弱)后整(强)、先高后低”的施工原则。在注浆过程中,应根据现场的实际情况,随时对注浆方案进行调整

#### 3.3.3 质量检测点及质量保证

——对钻孔的位置、角度和方向进行测量和控制,

以保证钻孔的精度要求:孔位平面偏差 $\leq 5\text{ cm}$ ,角度偏差 $\leq 0.5^\circ$ 。探孔和注浆孔的数量、位置、长度、角度和方向,需根据地质情况而变化,尤其是钻孔的位置。

——在注浆前,渗漏地带的渗水量应量测  
——应精确地掌握相关的不连续发生的渗水情况

况

——在注浆前应检查设备的运行状况  
——在充分准备栓塞时,应考虑到注浆量  
——在确定拌合机的型号时,应考虑到水泥浆的注入量

——所确定的注浆泵,应能输出施工所要求的压力和流量

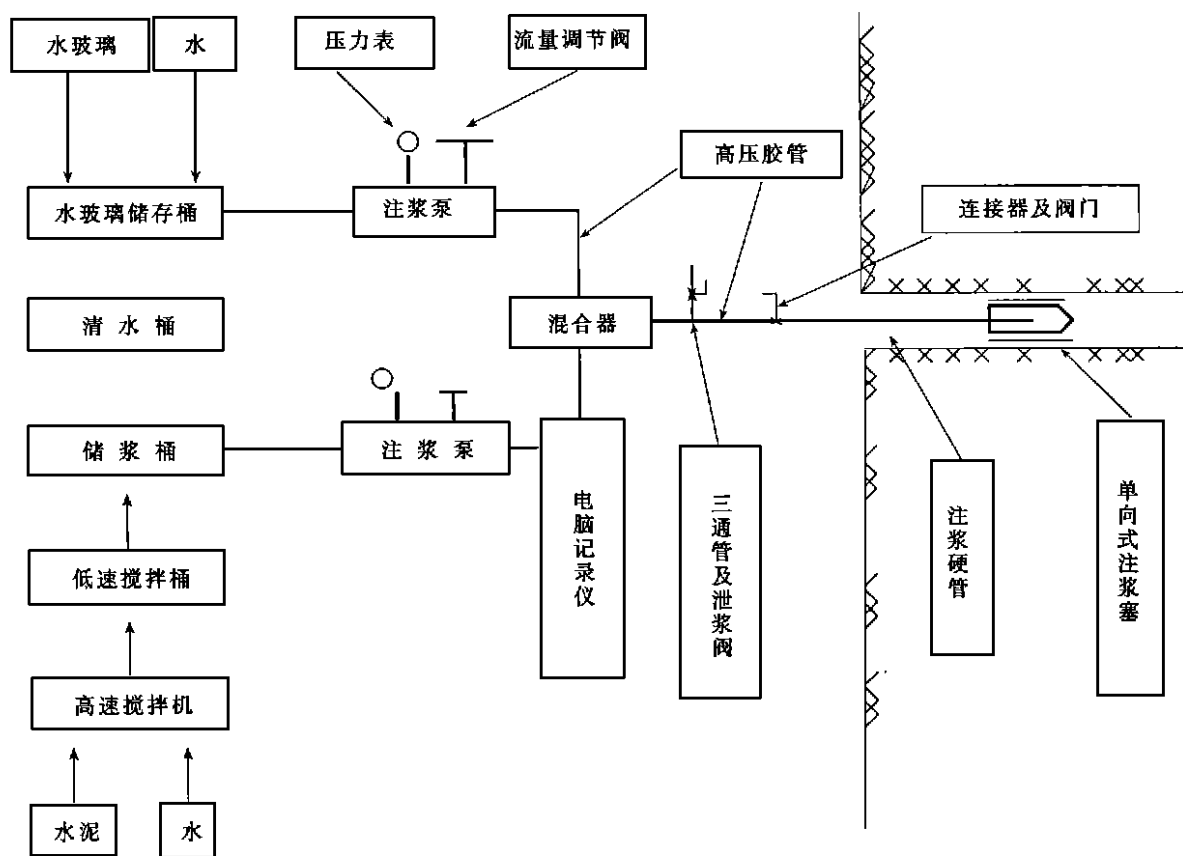


图6 双液单系统的布置图

——注浆前,应做注水试验,注水的最大压力采用最大的注浆压力以检查和确认注浆系统有无串水、漏水现象,测得注水量(岩石吸水量)后卸压。为了准确掌握注浆量和双液浆配合比的调配,对注浆泵的实际流量也必须进行测量。

——在钻孔前或注浆期间应通过掌握附近岩石质量,仔细观察由钻孔和注浆压力产生的裂缝或落石的

可能性。

——在把注浆栓塞安放在适当的深度时,应考虑岩石质量

——注浆塞要安装在距软弱带、漏水点尽可能近的位置。

——应量测每个钻孔的渗漏量和涌水压力,钻孔后应做好记录。对于长钻孔,流量的测量频率为每 10

m 一次。钻孔中遇到的局部涌水也必须测量其流量。测量方法是:①在孔中安装栓塞,②用容器接住孔中流出的水,并用秒表计时,以测得水流量,③在管塞末端安装压力计测得水压。钻孔记录的其它内容有:孔号、深度、起止里程、钻具尺寸、岩体名称、出现涌水的位置。根据岩粉、钻进速度、涌漏水情况来分析判断开挖面前方的工程地质、水文地质情况,作为止水控渗注浆和前方开挖施工采取何种技术措施的依据。

——注浆前,根据钻孔记录,必须对现场的情况进行详细的观察、分析和研究,以确定合理的注浆方案。

——注浆期间,根据现场条件的变化正确地控制配合比、注浆压力和注浆时间。

——为了不结块和沉淀,水泥和水的混合应充分搅拌。

——注浆期间,应仔细观察并记录洞室渗漏量的变化和渗漏点的转移,以适时地合理地调整注浆方案,达到高效的注浆效果。

——注浆后,应量测洞室的渗漏量并与注浆前比较,与设计的渗漏量比较,以确定是否需要更进一步的注浆。

——注浆设备和周围环境应清理。

——注浆帷幕厚度 $\leq 4\text{ m}$ ,检查孔的渗水量 $\leq 0.2\text{ L/min}$ 。注浆后,钻孔检查注浆效果,以决定是否需要进行更进一步的注浆。

——应完整记录量测数据,应根据规范的工作记录单来管理。

——在注浆作业完成 24 h 内,按规定的格式填报注浆记录报告。

——洞室开挖后,必须对岩面进行仔细的观察,检查浆液渗透和固结状况,及渗漏水情况。

### 3.3.4 注浆作业组织

成立专门的注浆作业队,其人员组成包括:电工 1 人,拌制水泥浆 2 人,操作注浆泵、维修注浆系统 2 人等,共 20 人。

## WATER SEEPAGE CONTROL TECHNIQUE FOR UNDERSEA LPG GAS STORAGE CAVERN

ZHAO Xi-bin

Tunnel Engineering Bureau of MOR

**Abstract** “Control of water seepage in caven” was one of the most important works in the construction procedure of the undersea gas storage cavern. The paper introduces the methods and understandings on the water stoppage by grouting for controlling water seepage during construction of undersea gas storage cavern for the engineering project of Shantou LPG Distributing Center. The expriences are accumulated for the construction of similar engineering projects, and they are valuable for reference.

**Keywords** water seepage; control technique; LPG(Liquefied Petroleum Gases); undersea gas storage cavern

(上接第 110 页)

铁道出版社, 1988.

[2] “插旗山锚杆挡墙试点总结”资料[R].铁道部第二勘测设计院.

## 参考文献

[1] 郑颖人等.地下工程锚杆支护设计指南[M].北京:中国

## STRUCTURAL THEORY AND ENGINEERING PRACTICE ON ANCHOR BOLT SUPPORT

ZHENG An-qi

Supervision Co., Second Survey and Design Institute of MOR

**Abstract** Nowadays, the anchor bolt support and anchor cable techniques are widely applied in engineering construction of railways, highways and ports. The paper analyzes the loading procedure and the deformation of anchor bolt and the scope of its application. Combined with the engineering practices on anchor bolt support, its construction and application experiences are introduced. They are valuable as reference for design works hereafter.

**Keywords** anchor bolt support; engineering practice; structural theory

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>