

# 核电厂安全壳竖向全尺寸钢束灌浆试验研究

王日艺 李海民 庞忠华 陈钰焯 周红梅 朱万旭

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

**摘要:**为响应国家核电建设自主化的号召, OVM公司组织进行了核电厂安全壳竖向全尺寸钢束灌浆试验。该试验结合秦山方家山、福建福清核电厂建设工程安全壳预应力系统灌浆施工来进行。本文着重介绍了全部设备采用国产化的条件下该试验的目的、试验方案及过程、试验结果。试验结果表明, 采用国产锚具与设备, 可以满足核电安全壳预应力孔道竖向灌浆要求, 对推动我国核电工程建设的自主化有深远的意义。

**关键词:**安全壳 预应力 锚具 灌浆 流动度

## 1 概述

核电厂核反应堆厂房一般采用钟罩型安全结构, 由核反应堆底板、筒体墙、环梁、穹顶四个部分组成, 安全壳属于后张法预应力钢筋砼结构。它是核电厂核安全的一道安全屏障。从空间上分, 安全壳预应力分为竖向预应力、水平环向预应力和穹顶预应力。安全壳预应力施工时先预埋管道成孔, 筒身及穹顶砼结构全部施工完后再穿束张拉, 最后灌注水泥浆体进行保护, 以防止预应力钢束锈蚀。预应力施工是一项专业专项施工技术。在国内, 许多超大超长的工程结构已采用了预应力技术并形成了成熟的施工规范。但在核电厂安全壳预应力施工领域一直被国外公司所垄断, 国家核电建设自主化呼声日趋强烈。柳州欧维姆机械股份有限公司作为国内预应力行业最大的生产厂家, 义不容辞地肩负起核电厂预应力施工国产化这一重大历史使命。通过与设计方、业主方、施工方的紧密联系, 结合正在建设的秦山方家山、福建福清核电厂工程, 严格按核电工程建设的要求自主设计生产了相匹配的锚具, 并做了静载试验、竖向全尺寸钢束灌浆试验。以下将从试验目的、方案及试验过程、试验结果等方面对竖向全尺寸钢束灌浆试验作详细的介绍, 抛砖引玉以期推动我国在核电预应力施工领域的发展。

## 2 试验目的

试验的主要目的是以秦山核电厂扩建项目(方家山核电工程)技术规格书6.05(B.T.S.—

6.05)《安全壳预应力系统水泥浆及灌浆试验》相关条款为主旨, 对新开发出的OVM15R-37C(其结构见图1)和OVM15R-37K(其结构见图2)两种规格的锚具进行1:1的竖向穿束灌浆试验, 验证以下目的:

- 1) 检验OVM15R-37K和OVM15R-37C系列锚具组件安装在竖向钢管后的整体适配性。
- 2) 检验锚具组件及竖向管道灌浆的可灌性和密封效果。

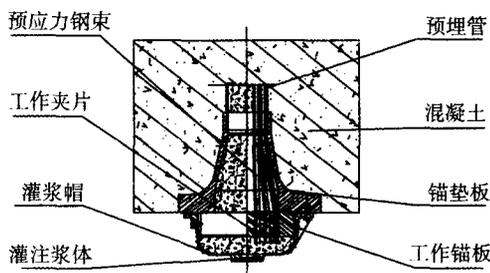


图1 OVM15R-37C型锚具结构

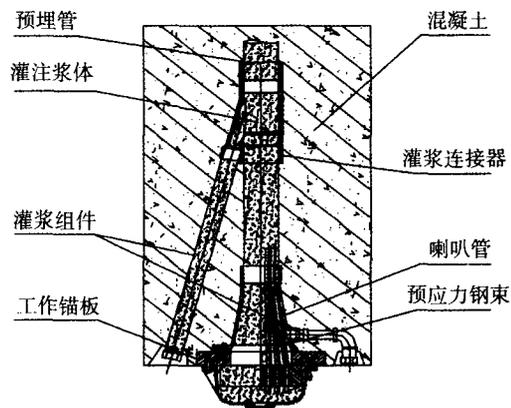


图2 OVM15R-37K型锚具结构

### 3 试验方案

#### 3.1 试验总体布置图

根据核电工程安全壳筒体墙内约60米高竖向预应力体系结构,结合我公司的锚具组件,以一高层建筑物—柳州市青山悠客楼盘(楼总高度达64米)内两竖向电梯间作为试验施工场地,如图3。按OVM15R-37K和OVM15R-37C系列各做一组试验。

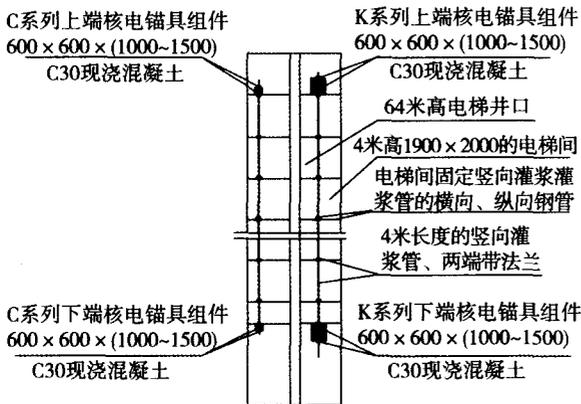


图3 竖向灌浆试验总体布置图

#### 3.2 试验流程

现场充分勘察→按布置总图准备竖向灌浆钢管准备→试验用相关材料、设备、平台搭建用钢管、竹跳板、安全网等准备→电梯间内安全照明灯的安装→搭建试验塔架→钢绞线穿束→检查OVM15R-37K、OVM15R-37C系列锚固块及管路的气密性→灌浆前设备调试、灌浆材料配备、灌浆管路检查→正式灌浆→拆除试验管道及OVM15R-37K、OVM15R-37C锚固块→试验结论。

#### 3.3 钢绞线下料、穿束

##### 3.3.1 下料

按60米长度下好 $2 \times 36 = 72$ 根钢绞线后,每根钢绞线卷盘、扎好,并成盘放置备用。

##### 3.3.2 穿束

1) 将已下好料的成盘钢绞线用运输车运送到试验现场。

2) 从最顶层的电梯口向第一层垂放牵引绳。

3) 对盘好的其中一盘绞线进行解盘。用牵

引绳与解盘的绞线连接好,边解边用人力向顶层方向拉。同时在竖向管的上端部装上OVM15R-37K或C系列的工作锚板。

4) 待绞线拉上顶层时把它穿入工作锚板的其中一个锚孔中,继续向上拉且继续往下放钢绞线。直到绞线安放到位,在上端部装上夹片。依此办法安装完全部的绞线。

5) 安装好下部的锚板与夹片。

6) 用砂轮机切除多余的钢绞线,安装好灌浆帽。

#### 3.4 检查OVM15R-37K、C系列锚固体体系的气密性

鉴于本次试验的特殊性,气密性用风压灌注的方式检查,采用结果推断的方式,即只要灌浆后承受最大压力的下端部锚具组件不漏浆,基本可以视为有较好的密闭性。

#### 3.5 灌注水泥浆

##### 3.5.1 材料、机具准备与设备调试

1) 提前加工好2个 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$ 、2个 $1.2\text{m} \times 1.2\text{m} \times 1.2\text{m}$ 规格的盛浆(水)桶。

2) 按试验要求备好3吨水泥,相应数量的外加剂。

3) 将灌浆所需使用的配套3SNS高压注浆泵、高速搅拌机、高压管、台秤、盛水量具等运至试验场。

4) 将搅拌机、盛浆桶、灌浆机进行组装。

5) 在搅拌机内倒入适量的净水,按灌浆流程运行,观察设备部件及管口处是否密实。

6) 将灌浆管接入OVM15R-37K或C锚固体体系继续利用清水进行整体试机,若有泄漏及时补救。

##### 3.5.2 灌浆施工

预应力灌浆的浆体由水、水泥和外加剂按一定的比例置于高速搅拌机中均匀搅拌而成,竖向钢筋束的浆体为缓凝浆,浆体性能符合技术规格书6.05(B.T.S.—6.05)《安全壳预应力系统水泥浆及灌浆试验》相关条款,并由有相应资质的机构出具第三方检测报告。

##### 3.5.2.1 灌浆材料

1) 水泥采用鱼峰牌P.II 42.5R硅酸盐水泥。

- 2) 灌浆用干净的自来水。
- 3) 灌浆用外加剂为减水剂和缓凝剂。

4) 浆体配合比的确定, 按《安全壳预应力系统水泥浆及灌浆试验》要求在试验室将浆体性能试配至符合要求后得出如表1基础配合比。

表1 基础配合比

水泥	水	减水剂A	缓凝剂
1000	340	15	7.5

### 3.5.2.2 灌浆设备与机具

此试验的设备均采用国产设备。

表2 竖向全尺寸钢束灌浆试验设备与机具

序号	名称	单位	数量
1	注浆机	台	1
2	高速搅拌机	台	1~2
3	1m×1m×1m盛浆桶	个	2
4	1.2m×1.2m×1.2m盛浆(水)桶	个	2
5	电焊机	台	1
6	切割机	台	2
7	混凝土震动机	台	1
8	氧气乙炔	套	1
9	50Kg台秤	台	1
10	水泵	台	1
11	铁桶	个	6
12	活动扳手	把	4
13	小管钳	把	2
14	注浆高压软管	m	40
15	连接软管	m	5
16	与各软管相配套的三通直阀	个	10
17	与各软管相配套的二通直阀	个	20
18	压力表	块	2

### 3.5.2.3 配料

水泥用台秤称重, 精确度为±3%, 添加剂用计量仪分批计量。精确度为±2%, 水测量装置的精确度为±1%。

### 3.5.2.4 搅拌

- 1) 将计量过的水倒进搅拌机, 然后按实际比例添加外加剂;
- 2) 开动搅拌机, 加水泥。持续搅拌5分钟;
- 3) 测量流动度, 将合格的浆体通过筛子排进贮存桶中;

- 4) 继续步骤“1)”两次, 提供足够填满钢束孔道的浆体(约650 L)后, 准备开始灌浆。

### 3.5.2.5 竖向管道内灌浆操作

本试验进行的是OVM15R-37K和OVM15R-37C两种系列的锚具灌浆试验, 两者结构上有一些差异, 如前述图1、图2。因此灌浆管路的布置与灌浆的程序有所不同, 图4是OVM15R-37K的灌浆管路, 图5是OVM15R-37C的灌浆管路。

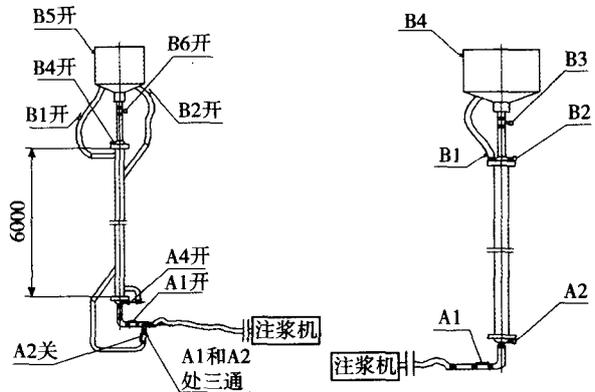


图4 OVM15R-37K 灌浆管路图

图5 OVM15R-37C 灌浆管路图

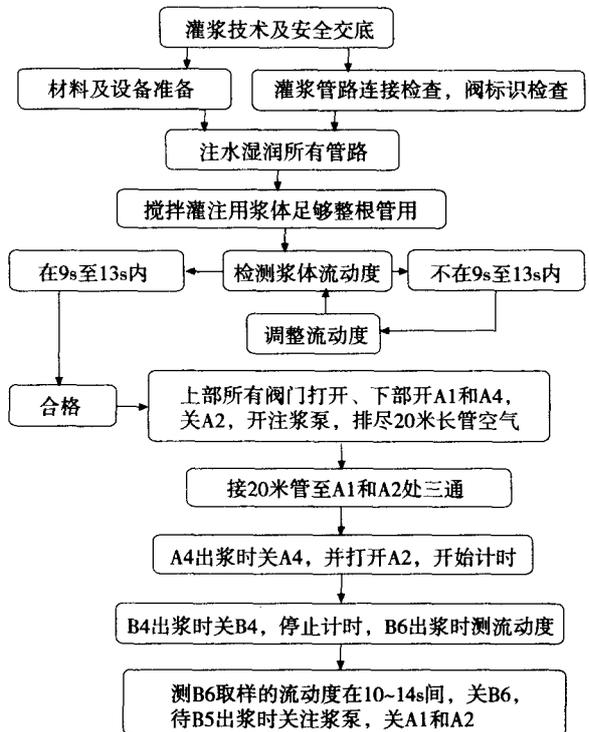


图6 OVM15R-37K灌浆程序图

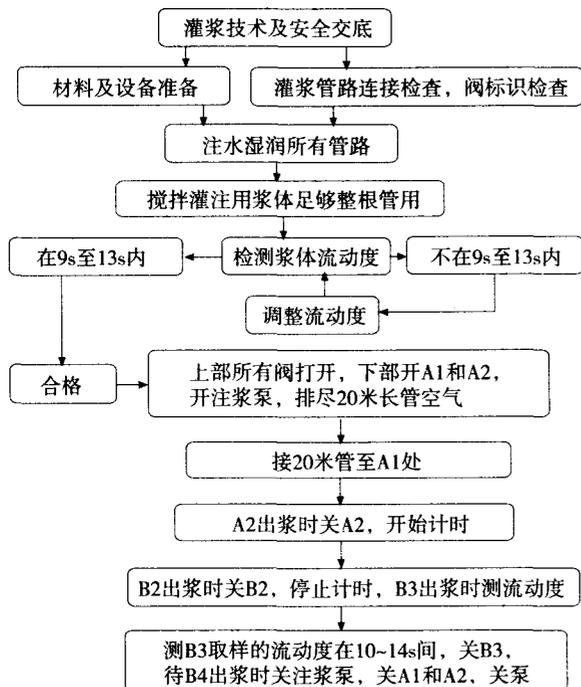


图7 OVM15R-37C灌浆程序图

按图4、图5所示连接两种规格的灌浆管路图, 为保证灌浆的密实, 灌浆采取从下端向上端进行施工。上部锚具的密封盖中心配有一个扩口的排气管, 该排气管由一个内径为80 mm的管子与一个最少容量为120 L的储浆罐相连。储浆罐通过两个柔性的透明软管与喇叭口和灌浆连接器排气管相连。下面以OVM15R-37K系列结合灌浆程序图对灌浆关键过程作详细说明:

- 1) 关闭排气管A2。
- 2) 打开排气管A1, A4, B1, B2和B4。
- 3) 提供足够填满钢束孔道的浆体。
- 4) 浆体被泵至软管端部, 所有空气和浮浆被排出, 检查浆体情况。
- 5) 将软管与底部锚具处的Y形连接器的第三个支腿相连。

6) 以低输出速率泵送浆体, 直到浆体到达A4排气管, 然后关掉A4。

7) 打开A2, 继续以低输出泵送浆体约6s并开始计时。

8) 当浆体达到B4时停止计时并关闭B4; 当浆体进入B6时进行取样, 检查流动度。

9) 继续泵送直到料罐装满和B5处发生溢流, 在样品流动度介于10~14 s之间时停止泵送, 关闭B6; 关闭A1和A2。

按类同的方法结合相应的灌浆程序图即可完成OVM15R-37C系列竖向钢束的灌浆。

#### 4 灌浆过程观察

1) OVM15R-37K孔道: 2008年5月27日进行灌浆, 浆体从下端锚固块灌浆孔注入, 至上端锚固块上部的储浆罐充满, 时间共需16分钟; 浆体流动度, 灌浆前为10.92秒, 储浆罐中取浆为9.00秒; 两天后浆体已固化, 取下上端储浆罐, 可观察到保护罩顶部浆体密实, 如图8所示。从抽取截面的切片看, 浆体凝固后填充饱满, 如图9。

2) OVM15R-37C孔道: 5月30日进行灌浆, 浆体从下端灌浆孔注入, 至上端储浆罐充满, 时间共需10分钟; 浆体流动度, 灌浆前为10.90秒; 储浆罐中取浆为12.80秒; 静止后, 有气泡从上端储浆罐浆体液面冒出。



图8 OVM15R-37K打开灌浆帽后的情况



图9 OVM15R-37钢管切开后的截面

#### 5 试验结论

OVM15R-37K和OVM15R-37C系列锚具通过严格的竖向全尺寸灌浆试验, 表明其与管道整体适配性好。均可将按技术规格书规定的浆体, 从底部锚固端通过竖向管道灌至顶部锚固端, 满足核电安全壳预应力孔道竖向灌浆要求; 整个灌浆过程密封性好, 灌浆过程顺利, 操作性好。在整个灌浆过程中所采用的搅拌、注浆设备均为国产设备。可见, 此次全尺寸竖向钢束灌浆的试验是成功的, 这将对推动核电站安全壳预应力施工国产化有深远的意义。

#### 参考文献

- [1] 龚振斌, 倪绍文. 恰希玛核电站安全壳预应力孔道灌浆, 2006(12)
- [2] 王恒, 魏成权, 张全民. 高强预应力锚栓预埋、先张法张拉及后灌浆技术[J]. 建筑钢结构进展. 2005年03期
- [3] 雷聚昌, 严家露. 岭澳核电站预应力灌浆用缓凝水泥浆配合比试验与应用. 建筑技术. 2001年32卷1期
- [4] 程志斌. 田湾核电站预应力钢束全比例灌浆试验. 施工技术. 2005年07期
- [5] 王连文. 大亚湾核电站反应堆安全壳预应力技术. 工业建筑. 2000年08期