

# 无粘结预应力后张法工艺在储煤筒仓中的应用

冯明源 肖云 余豪 蒋国超

**摘要:**本文介绍了无粘结后张法预应力施工工艺在贵州纳雍电厂储煤筒仓的应用中,预应力布筋、张拉及部分新工艺。

**关键词:**无粘结预应力 布筋 张拉

## 1. 工程概况

纳雍发电厂  $4 \times 300\text{MW}$  机组工程位于贵州省纳雍县阳长镇,其中三个储量为 30000 吨的储煤筒仓为预应力砼结构,采用无粘结预应力后张施工工艺。

储煤筒仓是三个相对独立预应力砼结构体,各层活荷载设计为  $6\text{kN/m}^2$ ,基本风压  $0.45\text{kN/m}^2$ ,地震设防烈度 7 度。

筒仓预应力筋布置方式有两种类型:  $180^\circ$  包角环向布筋和斗壁的径向布筋。钢绞线束的类型有:  $3\text{U}\Phi^{15.24}$ 、 $5\text{U}\Phi^{15.24}$ 、 $7\text{U}\Phi^{15.24}$  三种,最长的钢绞线束约 63m,最短的钢绞线束约 10m。

筒仓混凝土等级为 C40,预应力筋采用江阴法尔胜钢缆集团高强度低松驰 1860 级、 $\text{U}\Phi^{15.24}$  钢绞线。预应力锚具采用柳州海威姆建筑机械有限公司研发的新一代 2000 级 HVM 锚具,其类型有: HVM15A-3、HVM15A-5、HVM15A-7、HVM15-3P、HVM15-5P 五种,可配用 2000MPa 级及以下任何强度等级的钢绞线。

纳雍电厂由贵州电力建设第一工程公司主承建,储煤筒仓预应力部分由柳州海威姆公司和上海东方预应力有限公司联合施工。

## 2. 预应力筋布置及张拉端构造

### 2.1 半壁径向预应力筋布置及张拉端构造

2.1.1 如图 1,储煤筒仓的斗壁呈漏斗形构造,其主要作用是漏煤。斗壁径向布筋属直线布

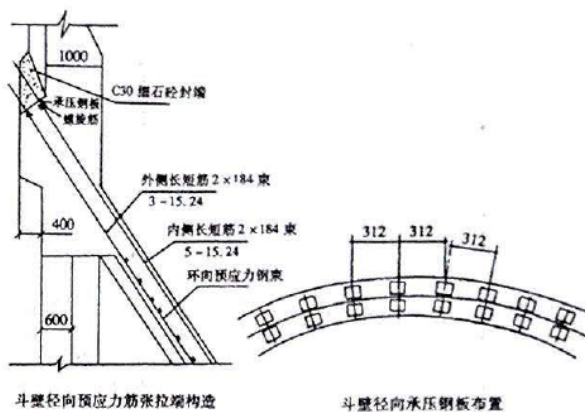


图 1

筋,外侧普通钢筋网片绑扎后,铺设预应力钢束;内侧普通钢筋网片绑扎后,按设计位置固定预应力钢束。

### 2.1.2 布筋方式

(1)在标高  $\nabla 4.20$  的位置上,外侧筋所在位置的半径  $D = 13.7\text{m}$ ,周长  $C = 86.04\text{m}$ 。沿全周长筋束在该位置按  $5\text{U}\Phi^{15.24}@468$  排布。

(2)在标高  $\nabla 14.00$  的位置上,外侧筋所在位置的半径  $D = 18.3\text{m}$ ,周长  $C = 114.92\text{m}$ 。沿全周长筋束在该位置按  $5\text{U}\Phi^{15.24}@624$  排布。

(3)外侧沿全周短筋束布置于两束长筋束中间。内侧沿全周长筋和短筋束,与外侧沿全周长筋和短筋束一一对应布置,总数与外侧长短筋束相同:  $2 \times 184 = 368$  束。

### 2.2 仓壁环向预应力筋布置及张拉端构造

布筋方式如图 2:(1)标高  $\nabla 15.00 \sim 12.576$ ; 共有 20 束。在标高  $\nabla 12.576$  线上布置第一束,

冯明源 肖云 柳州海威姆建筑机械有限公司 工程师

余豪 贵州电建一公司纳电分公司 总经理

蒋国超 贵州电建一公司纳电分公司 工程师

其余筋束以其作为参照束。按  $5U\Phi^{15.24} @ 242.4$  排布。(2) 高  $\nabla 22.00 \sim 15.00$ : 共有 56 束。在标高  $\nabla 15.00$  线上布置第一束, 其余筋束以其作为参照束, 按  $5U\Phi^{15.24} @ 250$  排布。(3) 标高  $\nabla 29.00 \sim 22.00$ : 共有 48 束。在标高  $\nabla 22.00$  线上布置第一束, 其余筋束以其作为参照束, 按  $5U\Phi^{15.24} @ 292$  排布。(4) 标高  $\nabla 37.00 \sim 29.00$ : 共有 54 束。在标高  $\nabla 29.00$  线上布置第一束, 其余筋束以其作为参照束, 按  $3U\Phi^{15.242} @ 296$  排布。(5) 标高  $\nabla 44.302 \sim 37.00$ : 共有 32 束。在标高  $\nabla 37.00$  线上布置第一束, 其余筋束以其作为参照束, 按  $3U\Phi^{15.24} @ 456$  排布。

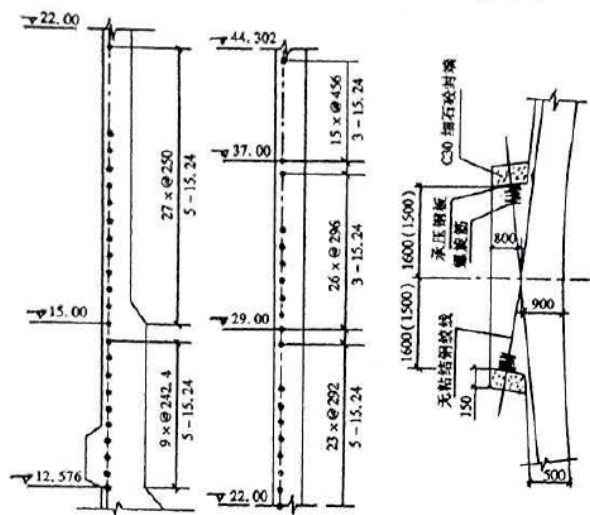


图2

### 2.3 预应力筋束定位及固定

#### 2.3.1 采用定位钢筋

如图3, 用  $\Phi 12$  螺纹钢作为纵向标高定位, 用  $\Phi 8$  圆钢作托钢绞线束。在筒仓上安装前可在下料场地内先按设计图纸进行加工好。

#### 2.3.2 铁丝绑扎

定位钢筋仅是对钢绞线束起到定位支托作用, 要固定牢靠尚需用铁丝进行绑扎。一般要求  $0.5m$  的间距绑一个点, 如钢绞线束越大, 则绑扎点数越密, 直到手摇不动为止。

### 3. 预应力筋张拉

#### 3.1 张拉方式及张拉力控制

3.1.1 预应力张拉方式: (1)  $180^\circ$  包角环向筋采用两端张拉, 斗壁径向筋采用一端张拉。(2) HVM15A-3、HVM15A-5、HVM15A-7 锚具均采用 YCW150B-200 型顶整体张拉, 对局部张拉空间不够的钢束, 采用 YDC260Q-200 型顶单根张拉。



图3

3.1.2 张拉要求:  $180^\circ$  包角环向筋采用一端对称张拉另一端对称补足, 斗壁径向筋采用一端对称张拉。

3.1.3 单根张拉控制力:  $\sigma_{con} = 0.75f_{pk} = 1395MPa$ ;  $P_{con} = 140 \times 1395 = 195.3kN$ ; 实际张拉时超张  $1.03\%$ , 实际张拉力  $P = 201.2kN$ 。

3.1.4 张拉控制程序:  $0 - 0.2P - 0.6P - 1.03P$  (持荷 5min, 自锚)

#### 3.2 斗壁径向张拉

斗壁径向钢束张拉时作一次进行: 采用 4 台 YCW150B-200 型顶, 以筒仓 4 个扶壁柱中心为起点, 对称开始, 顺时针方向进行。

#### 3.3 $180^\circ$ 包角环向张拉

如图4: 预应力筋的张拉在结构全部施工完毕后方可开始。4 台 YCW150B-200 型千斤顶在 4 个扶壁柱同时对称进行, 从筒仓上端往下, 一次性张拉完毕。在环向钢束与径向钢束交错的结构部位, 先张拉径向钢束, 再张拉环向钢束。

采用一端对称张拉另一端对称补足的方法进行。

#### 3.4 伸长值计算

取值:  $E_s = 1.95 \times 10^5$   $K = 0.004$

$P = 195.3kN$   $\mu = 0.12$

举例: 取仓壁设置部位  $\Delta 22.0 - 29.0m$  中的某一束为例进行计算。

取值:  $L = 60.7m$ ,  $L/2 = 30.35m$ ,  $\theta/2 = \pi/2 = 1.57$ ,

$$\Delta L = 2 \times \frac{P[1 - 1/2(KL + \mu\theta)]}{A_p \times E_s} \times 1/L$$

$$= 2 \times \frac{195.3[1 - 1/2(0.003 \times 30.35 + 0.12 \times 1.57)]}{140 \times 1.95 \times 10^5} \times$$

$30.35 = 366mm$ 。(其他钢束伸长值类似此计

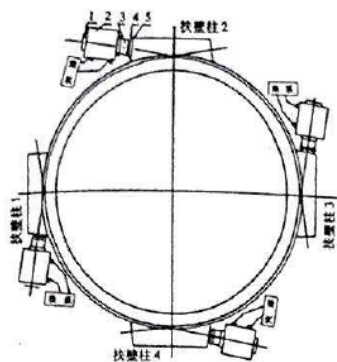


图 4

算得出)

3.5 张拉操作过程

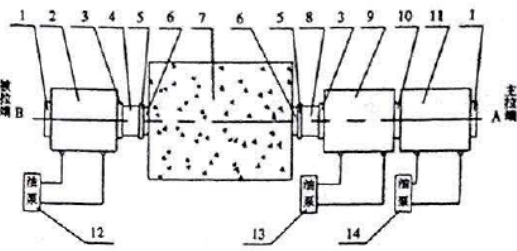
a. 张拉编组,设备就位。b. 电源安装,千斤顶和油泵试运行正常。c. 安装千斤顶,4 台千斤顶安装完毕。d. 由其中一组用对讲机统一指挥,开始张拉。e. 控制油压,均匀升压至控制力的 0.2P 暂停,测量千斤顶活塞初伸长量。f. 均匀升压到 0.6P 测量中伸长量。g. 继续升压至 1.03P 测量终伸长量。h. 测量出来的千斤顶活塞终伸长量减去初伸长量,即为该顶张拉的从 0.2P - 1.03P 间钢绞线的实测伸长。i. 与理论伸长值比较,符合 -5% ~ +10% 要求,继续下一钢束张拉;

如与理论伸长值不符合要求,则暂停张拉,分析原因,解决问题后再继续张拉。j. 做好张拉原始记录。

4、预应力摩阻损失测试

4.1 测试设备安装

主拉端和被拉端受力均用测力传感器测试,如图 5 所示。



- 1. 工具锚板夹片 2. 千斤顶 1# 3. 垫环 1#
- 4. 压力传感器 1# 5. 限位板 6. 工作锚板
- 7. 砧体 8. 压力传感器 2# 9. 千斤顶 2#
- 10. 垫环 2# 11. 千斤顶 3# 12. 油泵 1#
- 13. 油泵 2# 14. 油泵 3#

图 5 预应力损失试验设备安装图

4.2 测试结果见表 1

预应力损失及伸长值测试结果表

表 1

| 测试<br>结果 | 预应力损失 | 项 目               | 0.6P             | 1.03P   | 预应力损失结果分析                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------|-------|-------------------|------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|          |       | 主拉端传感器 2#读数       | 576kN            | 1000kN  | 1、预应力损失计算<br>取值: $K = 0.004$ $\mu = 0.12$ 有效长度 $L = 60.9\text{m}$ 。<br>$\sigma_{\text{con}} \times [1 - 1/e^{(0.004 \times 60.9 + 0.12 \times 3.14)}] = 0.462\sigma_{\text{con}}$ ; $P$ 失 = 464.7kN。<br>2、每延米预应力损失值<br>$P_1 = 347\text{kN} \div 60.9 = 5.7\text{kN}$ 。实际上,该钢束为两端张拉,每延米张拉预应力损失值近似为 2.9kN。<br>3、预应力损失值比较<br>实测预应力损失比理论计算值少 11.7%。 |
|          |       | 被拉端传感器 1#读数       | 381kN            | 653kN   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          |       | 实测张拉预应力损失值        | 195kN            | 347kN   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          |       | 理论计算预应力损失值        | 270.7kN          | 464.7kN |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          | 伸长值校核 | 项 目               | 0.2P             | 1.03P   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          |       | 主拉端千斤顶 2#活塞伸长     | 16mm             | 148mm   | 该测试的伸长值误差:8.4%,在无粘结预应力张拉伸长值允许误差范围 -5 ~ +10% 内,属正偏差。                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|          |       | 主拉端千斤顶 3#活塞伸长     | 16mm             | 189mm   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          |       | 被拉端千斤顶 1#活塞伸长     | 90mm             | 123mm   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|          |       | 实测伸长值 = 测量值 + 推算值 | 338 + 74 = 412mm |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 理论计算伸长值  |       | 380mm             |                  |         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

(下转第 29 页)

设计和建造规则(RCC-G)》(80版)和美国《混凝土反应堆容器和安全壳规范》ACI359-89版对预应力孔道灌浆用浆体的技术要求比较具体、全面。比如,除考虑了施工的可操作性、浆体强度、环境条件外,还考虑了浆体中有害成份对钢绞线的腐蚀问题,但法国 RCC-G 对此显得比较笼统,而美国 ACI359-89 对浆体中有害成份比较明确, $\text{Cl}^- < 150\text{ppm}$ ,  $\text{NO}_3^- \leq 150\text{ppm}$ ,特别是针对核电站安全壳预应力孔道灌浆,作为补充的 R. G 导则 1.107“安全壳预应力束水泥灌浆的鉴定”中更是明确: $\text{Cl}^- \leq 100\text{ppm}$  或  $200\text{ppm}$  (如果  $\text{PH} \leq 12$ ),  $\text{NO}_3^- \leq 100\text{ppm}$ ,  $\text{SO}_4^{2-} \leq 250\text{ppm}$ ,  $\text{S}^{2-} \leq 2\text{ppm}$ 。

浆体的稠度以流动度指标来测定,也即 1 升浆体通过流锥的秒数来表达,比较精确直观。

(3)灌浆时的泵送压力控制对保证孔道灌浆

密实作用较大。灌浆泵送压力是综合考虑了孔道类型、浆体性能等多种因素,并在反复试验的基础上确定的,应严格按程序要求操作。二次灌浆孔道的吹风时机掌握和压力控制对保证其孔道畅通,使膨胀浆浇灌密实有重大意义。

(4)钢绞线滑丝:在张拉过程中,应注意是否有异常现象,如响声,油压表指针抖动等,张拉完成后检查钢绞线上夹片留下的咬痕,以便及时判断是否钢绞线的滑丝。如出现滑丝,可利用单根张拉千斤顶对该根钢绞线进行补张拉。

(5)设计与施工加强协作,一般在锚固区域的结构受力复杂,布置较多的受力及加强钢筋,需综合考虑该区域的结构设计,必须确保重要构件的设计位置,同时兼顾该处现场施工的可能性,以最终保证工程的质量。

(上接第 23 页)

### 5、封锚

无粘结预应力筋张拉完毕后,整理张拉记录,在实测伸长值符合规范要求的情况下,对张拉端部外露的钢绞线进行切割,预留长度距离工作夹片外口不少于 30mm。

在张拉端部封锚前,对张拉槽进行凿毛,用清水湿润,用 C40 细石混凝土捣振封裹。

### 6、结语

1、煤仓在贮煤料侧压力的作用下,仓壁环向截面处于受拉状态。采用预应力混凝土结构,环向的拉力基本上由高强预应力钢材承担,仓壁混凝土经常处于拉应力很低的状态,不会引起仓壁混凝土开裂。这对结构的长期安全可靠使用具有

重要意义。

2、钢绞线经涂裹建筑油脂和外包聚乙烯套管后,具有很好的防锈性能;加之设在筒壁截面内、外有混凝土保护。张拉端部封锚的混凝土有 150mm 厚,锚具有很好的密封保护,有利于提高高强钢材的耐久性。

3、通过预应力损失测试结果可知,无粘结预应力钢束的摩擦损失比理论少约 10%,这对以后设计类似预应力结构具有参考价值。

4、预应力摩阻损失测试,主拉端及被拉端都采用测力传感器测力,使测试结果更可靠,同时采用 2 台以上的千斤顶串联一次性测试完成,减少了退锚的麻烦,具有推广应用的意义。

5、预应力高强钢材的使用,可节省钢材及混凝土约 20%,具有很大的经济意义。