

# 预应力技术用于CFRD的探究

任尚卿

(中国葛洲坝集团公司 宜昌 443002)

**摘要:** 本文是受国际混凝土面板堆石坝协会主席马铁龙Bayard MaTeron先生之托而撰写。文中主要论述预应力技术应用于混凝土面板堆石坝(CFRD),以预应力筋替代混凝土面板的部分钢筋,使其成为双向预应力钢筋混凝土面板,从而增强其抗裂性能,并减少面板的钢材用量。它将系统地介绍使用预应力筋的品种、替代钢筋的比例,预应力筋的布置,施加预应力方式及张拉防护措施等。

**关键词:** 预应力技术 双向预应力 钢筋混凝土面板 两筋比例

## 1 问题的提出

混凝土面板堆石坝(CFRD)于上世纪三十年代开始建设,已积累了很多经验,至今筑坝技术仍不断发展,特别是坝高150m以上的超高CFRD,有好多技术问题亟待解决。如何减少或避免混凝土面板裂缝的产生、降低钢材的用量,这是值得人们思考的。本文将后张预应力技术运用到钢筋混凝土面板上,使其成为双向预应力钢筋混凝土面板,它既能增强抗裂性能,又能节约钢材用量,也是符合低碳减排新理念。

## 2 采取的办法

### 2.1 两筋比例

一般CFRD面板的配筋率纵向筋(顺坡向)为0.4~0.45%,横向筋(轴向)为0.35~0.4%。由于面板受力复杂,加之构造上的要求,故将整个面板配筋的20%用预应力筋来替代,即将原钢筋的规格略为变小,其间距不变,钢筋网保持原样(原剪力筋不变),改变后的面板主要由预应力筋和钢筋共同承受荷载。预应力筋可直接绑扎在钢筋网上,待混凝土浇筑后达到设计强度(一般为70%),即可施加预应力。为了发挥早期防裂作用亦可在混凝土浇筑后五至七天内施加预应力。

### 2.2 预应力筋

当今市场上用于水工建筑物的高强低松弛钢绞线(预应力筋)有以下几种:

#### 2.2.1 有粘结预应力筋

有粘结预应力筋为1860MPa 1×7 高强低松弛钢绞线,俗称光面钢绞线。如用于CFRD面板时,需埋管成孔,采取后穿法(埋好管,经混凝土

浇筑后再穿钢绞线)或先穿法(将钢绞线穿入管内,敷设在钢筋网上),待混凝土达到设计强度后施加预应力,张拉锁定经验收合格,方能进行封孔灌浆。这种预应力筋需要采取埋管成孔,不仅影响混凝土面板的整体性,而且施工工艺复杂,护防灌浆质量难以保证,故不宜采用。

#### 2.2.2 无粘结预应力筋

光面高强低松弛钢绞线通过挤塑机将其表面涂上工业油脂外裹PE护层,即为无粘结预应力钢绞线。在我国已成功用于水工隧洞预应力混凝土衬砌、大型薄壁三向预应力混凝土渡槽、箱涵工程。无粘结预应力筋施工简便,用于CFRD时,可直接绑扎在钢筋网上,待浇筑混凝土后施加预应力。由于这种预应力筋的应力传递全靠锚具,因而锚具的可靠性及防护体系极为重要,一旦预应力筋在任何部位发生腐蚀、断裂都将影响面板的受力性能,故最好不用于CFRD面板上。

#### 2.2.3 缓粘结预应力筋

其外表与无粘结预应力筋相同,但内部涂层材料不一样,它使用环氧树脂、水泥为主材,辅以添加剂和固化剂,经挤塑机加工而成。当其未固化前与无粘结预应力筋十分相似,固化后有粘结预应力筋一样。目前我国缓粘结预应力筋产品固化期分为30天、60天、90天三种,使用时可根据工程安排选择。这种预应力筋是用于CFRD面板最为理想的材料。

## 3 工程举例

以100m级CFRD为例,按工程类比法大坝上下游面边坡一般均为1:1.4 见图1。

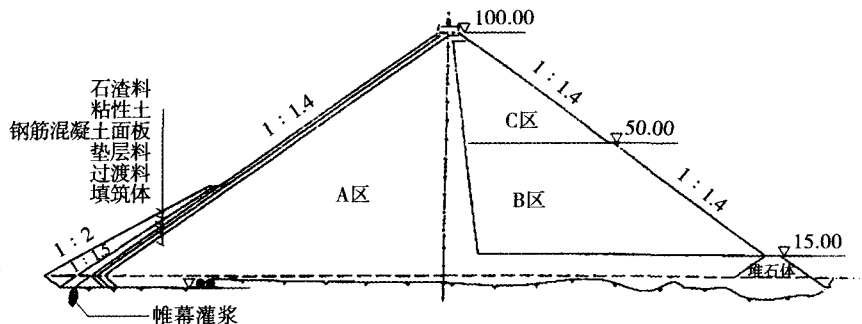


图1 混凝土面板堆石坝剖面图

混凝土面板顶部厚为30cm，底部厚为60cm，其强度等级为C20，预应力区适当提高一点。纵向配筋率为0.4%，横向配筋率为0.35%，为单层双向钢筋，置于面板中部。纵向布筋一般为 $6\phi 20@16$ ，横向布筋一般为 $6\phi 18@16$ 。按等强换算采用1860MPa高强低松弛缓粘结预应力筋来替代20%的纵横方向钢筋，设计控制应力为 $0.65F_{pk}$ ，纵向布筋则改为 $6\phi 18@16$ ，另加 $2\phi 15.24@50$ 缓粘结预应力筋；横向布筋则改为 $6\phi 16@16$ ，再加 $2\phi 15.24@50$ 缓粘结预应力筋，见图2、图3。

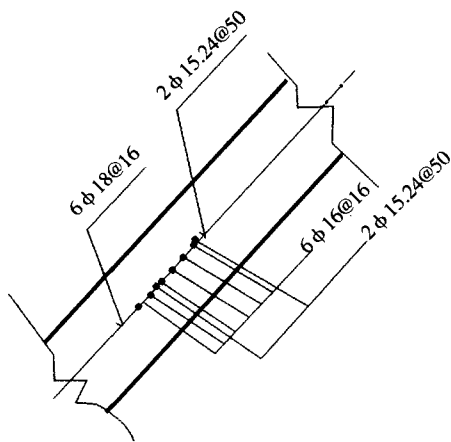


图2 纵向配筋示意图

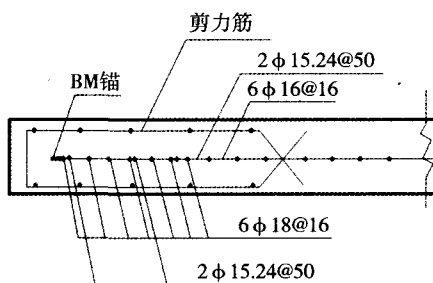


图3 横向配筋示意图

计算表明1根缓粘结预应力筋相当于2.3根 $\phi 20$ 钢筋，同样相当于2.9根 $\phi 18$ 钢筋。故纵向2根缓粘结预应力筋相当于5根 $\phi 20$ 钢筋，横向2根缓粘结预应力筋相当于6根 $\phi 18$ 钢筋，这说明2根预应力筋可完全代替6 $\phi 18$ 的钢筋。所以预应力筋替代部分钢筋后它的安全储备大大提高，而且钢材用量又可减少。如果将面板的布筋规格再降一级，即 $\phi 18$ 变 $\phi 16$ 、 $\phi 16$ 变 $\phi 14$ ，间距16cm改为20cm，就能节省更多的钢材。

### 3.1 预应力筋铺设

在绑扎面板钢筋网时，缓粘结预应力与纵横钢筋平行分别进行安装，其间距均为50cm，并加以固定和作好防护，确保不灼伤或刺破PE护层。预应力筋安装应保持平直，否则影响 $\mu$ 值和 $\kappa$ 值，导致所建立的预应力受到损失。

### 3.2 施加预应力方式

横向预应力筋长度一般在20m以内，可采取一端张拉；纵向预应力筋长度超过100m，属于超长索，根据DL/T5083-2004规范的规定，当索体长度超过25m时应采取两端张拉，故纵向索应采取两端张拉。

横向预应力筋其固定端采用BM锚或单孔锚埋设在混凝土面板内；纵向预应力筋两端张拉，由于下端紧接已浇起始块混凝土，只能采取槽外张拉方式。

### 3.3 索体张拉

#### 3.3.1 张拉程序

为防止纵向索张拉过程中产生次应力，导致板块上下端混凝土出现纵向裂缝，故采取先张拉板块上下端3束横向索，再张拉纵向索。张拉纵

向索时应由两边索相向逐根或跳索同步对称分级加载、间歇张拉,待纵向索张拉完毕后再张拉横向索,由于横向索较多,可采取由下而上和上而下多台千斤顶向板块中部逐根张拉。

### 3.3.2 控制标准

采取张拉力控制为主,伸长值为辅的双控措施,其差值应在 $\pm 6\%$ 以内。

### 3.3.3 分级加载

横向索可分5~6级加载;纵向索长度大,为确保张拉效果,可分为10级加载,而且采取间歇张拉为宜。

0  $\xrightarrow{\text{预紧}}$   $0.2 \sim 0.4 \sigma_{\text{con}}$   $\xrightarrow{\text{回零}}$   $0.2 \sigma_{\text{con}}$   $\xrightarrow{\text{持荷2min}}$   $0.4 \sigma_{\text{con}}$   
 $\xrightarrow{\text{持荷2min}}$   $0.6 \sigma_{\text{con}}$   $\xrightarrow{\text{持荷2min}}$   $0.8 \sigma_{\text{con}}$   $\xrightarrow{\text{持荷2min}}$   $1.0 \sigma_{\text{con}}$   
 $\xrightarrow{\text{持荷稳压10min}}$   $1.05 \sigma_{\text{con}}$  锁定。

### 3.4 监测

此项工作应与索体张拉同步进行,张拉完毕后加密观测(第一天为四次,第二天为三次,第三天为两次,第四天为一次,往后逐步减少观测次数,直至基本稳定。)

### 3.5 防护

张拉锁定后,经验收合格应及时进行板块下

部锚具槽和板块上部及板块横向外锚头封堵。

(1) 采用我国柳州OVM生产的防腐蚀性锚具;

(2) 锚具槽回填混凝土前,应将槽壁清洗干净,并涂刷水泥浆或环氧基液,待恢复锚固区的钢筋网,经检验合格,方可回填补偿收缩细石混凝土或微膨胀细石混凝土,仔细振捣密实,收浆后进行湿养。锚具槽是防水最薄弱的环节,特别是在100m深水下的部分,新老混凝土结合是关键,必要时可在槽面敷贴碳纤维布,以防渗水进入锚固区;

(3) 外锚头的防护亦是十分重要,封锚时须将锚具和出露的钢绞线头洗擦干净,采用环氧砂浆密封。

### 4 结语

CFRD的筑坝技术从经验阶段已转入理性发展阶段,是经过先辈的不断研究和创新的结果。按照科学发展的观点,科学技术是不断发展的,只有通过工程实践不断总结经验,不断创新才能修建更好的CFRD。笔者认为预应力技术对我国即将修建300m级CFRD是极为有用的。

## 简讯

# 两部国家标准制定工作会议在柳州召开

2010年7月31日~8月1日,国家标准《斜拉桥钢绞线拉索技术规程》、《体外预应力索技术规程》制定工作会议在柳州召开。冶金工业信息标准研究院王玲君秘书长、柳州市质量技术监督局局长黄宝临、柳州欧维姆机械股份有限公司总经理丁永贵到会并致辞。柳州欧维姆机械股份有限公司副总经理龙跃主持会议。

这两部标准由国家标准委于2008年下达制定计划,由柳州欧维姆机械股份有限公司和同济大学共同主持编写。经过大量的资料收集、补充试验、研究讨论并广泛征求有关单位和专家意见的

基础上,形成了标准讨论稿。此次会议的目的就是对标准讨论稿进行讨论修改。

来自全国各地的二十多位专家参加了讨论会。会议先由主编单位项目组成员对讨论稿进行了介绍,然后,与会专家认真研读了讨论稿,并对讨论稿进行了逐条进行讨论,提出了很多中肯的意见和建议。

本次工作会议达到了预期的目的,为标准今后的进一步修改、完善和报批夯实了基础。

(谭柳芳 玉进勇)