

宝珠寺水电站预应力大梁施工

杜鹏侠

(中国水利水电第五工程局,四川广元,628007)

摘要 宝珠寺水电站主安装间屋顶为整体承重式预应力大梁结构。该梁净跨24.0 m,梁高120 cm,腹板厚20~30 cm,为一标准薄腹倒“T”形深梁。本文结合该梁的施工情况,较系统地介绍了后张法预应力的施工方法、施工工艺及注意事项。

关键词 宝珠寺水电站 后张法 预应力施工 大梁

1 工程概况

宝珠寺水电站位于四川省广元市境内,是嘉陵江水系白龙江干流梯级开发规划中的第二个梯级电站。该电站是以发电为主,兼顾灌溉,防洪等效益的综合利用大型水利工程。采用重力坝坝后式厂房方案,最大坝高132 m,正常高水位▽588 m,水库总容25.5亿m³,调节库容13.4亿m³。为不完全年调节电站。电站装机4×175 MW,保证出力156 MW,年发电量23亿kW·h。

宝珠寺水电枢纽为河床中间坝后式厂房,泄水建筑物布置在河床厂房挡水坝段的两侧。主要建筑物有:混凝土实体重力坝,泄水表、中、底孔,厂房,过木道,821厂工业取水口和预留农业灌溉取水口等。其中,主厂房总长122 m,主安装间布置在机组段的左端,在4号机组段占6 m,左泄水底孔坝段(即19号坝段)20 m,共长26 m,与发电机层同高布置,均在▽498.7高程。主安装间(专指10号坝段部分,下

同)进深24 m,开间20 m屋顶布置有左泄水底孔,因此,屋顶结构设计成由37根(实际只用了35根)预应力大梁为骨架的整体承重式结构,如图1所示。

在该工程中,预应力大梁长24.5 m,为大跨薄腹倒“T”形梁,如图2所示。每根梁内布有6束6×φ₁₅钢绞线束,其标准强度 $f_{ptk}=1\ 470$ MPa(实际使用的钢绞线为 $f_{ptk}=1\ 570$ MPa)的低松驰高强型钢绞线。布置方式见图2、3和表1。

表1 预应力大梁布置方式参数表

	α	a/m	b/m	R/m
N_1	1°31'39"	1.762 8	0.533 2	20.0
N_2	1°31'39"	2.702 3	0.533 2	20.0
N_3	10°4'50"	2.960 6	3.500 7	20.0
N_4	10°4'50"	3.127 2	3.500 7	20.0

2 方案选择

主安装间进深24.0 m,顶部设有泄水底孔。泄水时,有很大的水自重荷载和动水荷载。主安装间屋顶到左底孔底有6.05~8.27 m的现浇混凝土层,

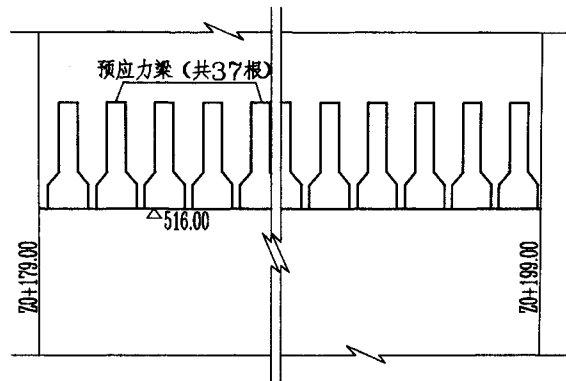
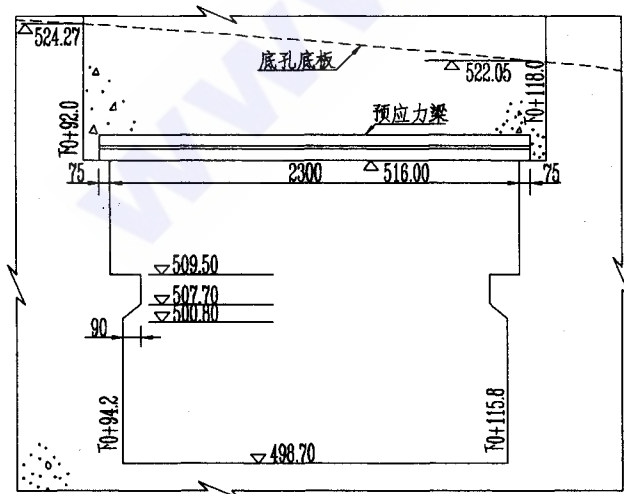


图1 预应力大梁布置图

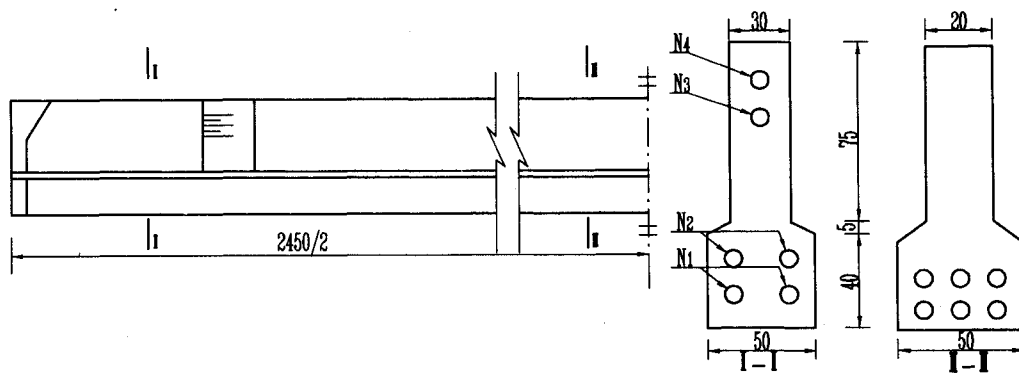


图 2 预应力梁体形图

套的 YCW150-200 千斤顶, ZB₄-500 油泵。

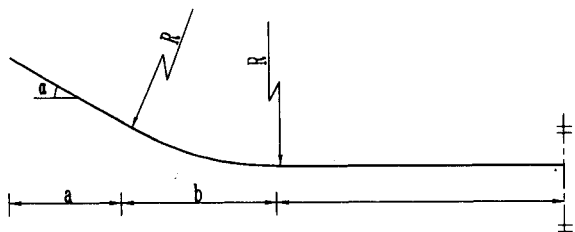


图 3 预应力筋布置曲线

如图 1 所示。因此,主安装间屋顶既要承受永久荷载,又要承受施工荷载。仅就施工荷载而言,混凝土按 2 m 厚分层浇筑,单宽范围内最大弯矩就高达 5 774.75 kN·m/m。如果采用满堂撑脚手架,在现浇混凝土里配筋,除要多用 35%~45%左右的钢筋外,还要用脚手架钢管 300 t 左右。如果采用预制常规混凝土梁,梁必然高且大,钢筋用量也较预应力梁方案多用钢筋 35%左右。更为严重的是由于梁自重太大,因现场起吊能力不能超过 25 t,而无法吊装。经多方案比较,最后选定采用预应力大梁整体承重式屋架方案。

3 锚固体系的选用

预应力锚固体系的选择对预应力大梁施工的简繁程度和可靠性影响很大。根据预应力筋的布置情况,设计选用 JM15-6 锚固体系。JM 系列产品为我国 60 年代研制的产品,因其锚环,夹片的互换性差,施工极不方便,且夹持能力不高,可靠性差,该产品已基本淘汰。资料表明,由中国东方预应力股份有限公司研制生产的 OVM 锚固系统,是在吸取了国内外锚具的先进经验,重新组合结构参数,改进生产工艺,反复试验后研制成功的。其性能既通过了国内的权威机构检验和英联邦检验机构的严格测试和鉴定,又满足国际预应力协会(FIP)《后张法预应力体系的验收和使用建议》及英国《BS4447 标准》,已被广泛应用。在进行了多方比较和考察后,改用东方预应力股份有限公司生产的 OVM15-6 成套锚具和配

4 预应力大梁施工

4.1 工艺流程

上底模,绑扎梁内钢筋→固定波纹管支架→安装波纹管→安装锚垫板,螺纹筋→上侧模→混凝土浇筑→混凝土养护→钢绞线穿束→锚具安装→第一阶段张拉→吊离→第二阶段张拉→孔道灌浆→封端→吊装就位。

4.2 施工工艺

4.2.1 钢绞线性能及下料

(1) 钢绞线性能

设计选用钢绞线为 $1 \times 7\phi_{15}$, 标准强度 f_{PK} 为 1 470 MPa, 公称截面积为 139.98 mm², 最低破断力 205.8 kN。但由于购买原因,实际购买的钢绞线标准强度 f_{PK} 为 1 570 MPa, 最低破断力为 219.52 kN, 为天津市预应力钢丝一厂产品。进场后,按规范进行抽样试验,其性能完全达到《GB5224-85》中 $f_{PK} = 1 570$ MPa 的要求。

(2) 下料长度计算

钢绞线的下料长度与孔道形状、千斤顶、锚具大小有关。其计算式如下:

$$L = L_0 + 2(a + b + c + d) \text{ (适用于两端张拉)}$$

$$L = L_0 + a + 2b + 2c + d \text{ (适用于一端张拉)}$$

式中 L_0 为孔道长度,设计已给出;

a 为千斤顶长度,本工程取 510 mm;

b 为工作锚厚度,取 40 mm;

c 为钢绞线超长,一般取 100 mm;

d 为工具锚厚度,本工程取 60 mm。

(3) 下料方法

在钢绞线上精确量出下料长度,标出下料位置,并在下料口左右各 20 mm 处用 20 号铅丝绑扎。然后用薄片砂轮切割机切断,以保证切头平整,不散,切忌用电焊切割,将切好的钢绞线编号,妥善保存,备用。

4.2.2 波纹管的安装

(1) 成孔材料的选择

根据原设计,预应力孔道形成采用预埋胶管,在混凝土初凝后拔管形成预应力孔道,即预埋胶管抽芯法。由于拔管时间很难掌握,孔道较密,极易造成拔管困难和因拔管造成孔道破坏,此法已跟不上现代预应力发展水平。因此,改为现已广泛运用、成孔性能可靠的预埋镀锌波纹金属软管(即波纹管)法成孔。

(2) 预应力孔道形式

预应力孔道由两端的倾斜直线通过圆弧同中间水平直线连接,其形状如表 1、图 3 所示。

(3) 波纹管的安装

波纹管曲线段和倾斜直线段固定间距为 33 cm,平直段固定间距为 66 cm。根据波纹管曲线形状,计算出加固点的坐标。根据坐标位置,按图 4 所示的方法焊接波纹管托架。

波纹管直径 $\phi 65$,壁厚 0.3 mm,从梁的一端穿向梁的另一端,用 20 号铅丝牢固地绑扎在托架上,如果波纹管长度不够,用一长 250 mm $\phi 70$ 波纹短管,通过波纹套筒,再用密封胶带封口,使之形成一个整体。安装完毕后,检查波纹管和管壁有无破损等情况,如发现接头松动或管壁破损,可用胶带粘结牢固,必须保证位置准确和管壁完好。

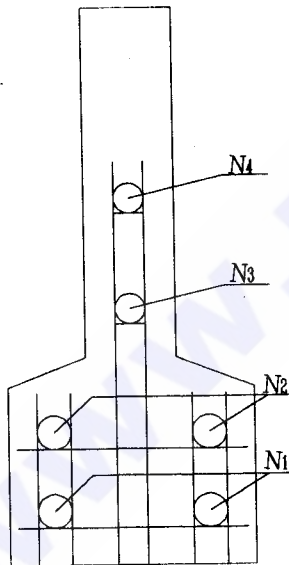


图 4 波纹管固定示意图

4.2.3 锚垫板、螺纹筋的安装

在波纹管两端进行螺纹筋、锚垫板安装时,必须保证①螺纹筋紧靠锚垫板;②锚垫板与端模固定牢靠,贴合严密并垂直于孔道中心线。为此,根据梁端部形状和孔道位置,专门用 6 mm 厚钢板加工了一套带螺孔(孔位用锚垫板准确安装时锚垫板的固定螺孔孔位)的端头模板。经过实施,效果很好。

4.2.4 混凝土浇筑

(1) 混凝土的配比:

大梁采用 C₅₀ 高强混凝土。因为用 525 号水泥能够配出 C₅₀ 混凝土,结合其它部位所用水泥情况,所以,拌制大梁混凝土的材料为江油水泥厂 525 号普通硅酸盐水泥,新鲜的人工砂、小石。为了充分保证混凝土强度和混凝土的和易性,延长初凝时间,经多方比较,最后选用 DH₄-A 高效减水缓凝剂,增加坍落度 4 cm 左右,和易性和流动性也明显改善,在试验室标准养护下,7 d 强度达 57.4 MPa,其配比如表 2。

表 2 C₅₀ 混凝土配比表

水泥用量 /kg · m ⁻³	水灰比 W/C	高效减水剂 DH ₄ -A /kg	骨料用量		坍落度 /cm
			砂	碎石 (5~20 mm)	
600	0.30	4.5	627	1 033	6~9

(2) 混凝土浇筑:

由于梁深且薄,形状复杂,钢筋密度大(见图 2,图 5),混凝土水泥用量大,水灰比小,致使混凝土拌和物粘性强,流动性差,坍落度损失严重,大梁混凝土浇筑难度很大。为此,每根梁主要采用 20 套平板附着式振捣器进行振捣浇筑,并辅以 $\phi 30$ 插入式振捣器和人工钎插捣实。为防止浇筑时波纹管漏浆堵管,混凝土浇筑完成后,用水冲洗波纹管,然后封堵保护波纹管口和锚垫板上的灌浆管口。同时,每根梁现场取样两组,同条件养护,以确定大梁混凝土强度,便于张拉。

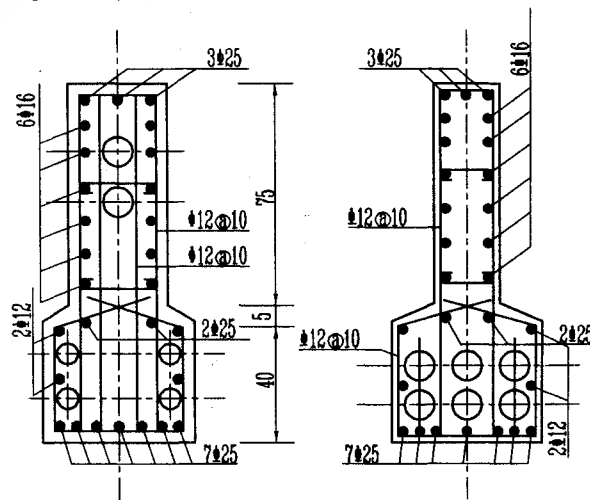


图 5 大梁钢筋布置图

4.2.5 钢绞线穿束

据经验,该梁采取混凝土浇筑后,人工穿束较为方便,在混凝土浇筑完成 7 d 后,进行钢绞线穿束。最初三根梁采用钢绞线编束后整束穿束,6 × $\phi 15$ 编成一束,因刚度自重都较大,与孔壁摩擦也大,穿束较困难。后改为单根钢绞线穿束,效果很好。为减小

阻力,在钢绞线前端用硬塑料加工一锥形帽套上,效果更好。

4.2.6 张拉

(1) 第一阶段张拉

在确认大梁混凝土强度不低于 40 MPa 后,根据设计要求,对两束 N_1 进行 80% 张拉,即第一阶段张拉。张拉时,为防止梁偏转扭曲,必须两束同时一致进行。张拉程序如下:

○ $\xrightarrow{\text{10 t 拉力}(\approx 10\% \sigma_{con})}$ $\xrightarrow{\text{80\%} \sigma_{con}}$ $\xrightarrow{\text{持荷 5 min}}$
钢绞线上作标记 $\xrightarrow{70.55 \text{ t 拉力}}$ 测伸长值

锁定,卸荷,测夹片回缩值。

(2) 第二阶段张拉

由于场地限制,将完成了第一阶段张拉后的大梁吊出预制场地,进行第二阶段张拉。张拉顺序为: $N_3 \rightarrow N_4 \rightarrow 2N_1 \rightarrow 2N_2$,张拉程序如下:

○ $\xrightarrow{\text{10 t 拉力}(\approx 10\% \sigma_{con})}$ $\xrightarrow{\text{慢慢升荷}}$ $\xrightarrow{1.05 \sigma_{con}}$
钢绞线上作测量标记
(张力 92.6 t) $\xrightarrow{\text{持荷 5 min}}$ $\xrightarrow{\text{测伸长值}}$ $\xrightarrow{1.0 \sigma_{con}}$ (88.2 t 拉力)
 $\xrightarrow{\text{持荷 5 min}}$ $\xrightarrow{\text{测伸长值}}$ 锁定,卸荷,测夹片回缩值。

在这一阶段张拉时,对 N_3, N_4 两曲线孔道进行两端张拉,张位方法为在一端张拉完成后,在另一端进行补张拉。

(3) 伸长值计算

大梁张拉采取双控。应力控制通过千斤顶油压表测试。伸长值则通过下式计算:

$$\Delta L = E_p \cdot l / (A_p \cdot E_s)$$

$$F_p = F_k \{1 - [(kL_T - \mu\theta) / 2]\}$$

式中 E_p 为平均张拉力;

F_k 为千斤顶张拉力;

L_T 为钢绞线张拉端到计算截面的长度;

μ 为钢绞线与波纹管间的摩擦系数;

θ 为张拉端到计算截面曲线孔道部分切线的夹角(rad)。

通过对 210 束钢绞线的伸长值测量,其值均能满足 GBJ204-92 中规定的 $-5\% \sim +10\%$ 的要求。

4.2.7 孔道灌浆

孔道灌浆既可减少钢绞线的徐变,又能防止钢绞线锈蚀。因此,在完成大梁张拉后尽快(不迟于 3 d)进行孔道灌浆。

灌浆采用 525 号普通硅酸盐水泥, $W/C = 0.35 \sim 0.4$ 。其操作要点如下:一次灌完,连续进行,灌浆压力开始为 0.3 MPa,逐渐加大到 0.5~0.6 MPa,待排气孔排出空气、水,稀浆,浓浆时逐渐封闭。当压浆压力升到 0.6~0.7 MPa 时屏浆,待孔内浆液初凝后拆除压浆阀门,完成灌浆。

4.2.8 大梁封端

根据要求,孔道灌浆完成后应立即进行封端混凝土浇筑,这样可以保护锚头。但由于其它原因,本工程的大梁封端混凝土是在吊装完成之后才浇筑。尽管如此,混凝土浇筑前,锚具仍全部完好,钢绞线也没有内缩。说明锚具的可靠性和灌浆效果良好。

5 试验分析

根据设计和《预制混凝土构件质量检查评定标准》(GBJ321-90)要求,在梁张拉、灌浆完成后,吊装前,随机选取了一梁做结构性能试验。其最大加载值为设计标准值的 125% 时,最大挠度 64 mm,相对挠度 1/382.8,小于规范规定的 1/300 且无裂缝生成。卸荷后挠度回零。满足设计、规范要求。

由于混凝土浇筑后,通过试块试验,其中有一根梁强度不够,只达到 C_{35} 。为安全计,对该梁也按上述要求做了结构性能试验。当荷载为 100% 设计标准荷载时,挠度为 67 mm,相对挠度为 1/355.2;当荷载为 125% 设计标准荷载时,挠度为 79 mm,相对挠度为 1/310.1,且无裂缝生成,卸荷后挠度回零,也满足设计规范要求。

6 小 结

本工程采用大跨薄腹预应力梁作主安装间整体承重结构的主要部分,既经济适用,又满足了现场吊装,无疑是成功的。但在施工中应注意以下问题:

①在梁端,锚具、波纹管、钢筋纵横交错,混凝土浇筑时应特别加强振捣。

②混凝土拌制必须严格按配比进行。

③强拉时,对伸长值测量必须认真,并对其偏差进行分析,很好地进行伸长值控制。

另外,对梁的设计及要求谈点看法:

①屋顶为整体承重式结构、大梁布置如图 1 示。这样布置,理论上梁间间隙达 39.5 mm,可按照规范的各种允许偏差和为安装间吊顶预埋 $\varphi 8$ 吊筋之后,就只能布置 35 根梁。

②后张法预应力施工技术已很成熟,如果预制大梁时的每一道工序都象现浇结构一样严格验收,都能达到规范、设计要求。也应该同现浇结构一样,没有必要再花精力和资金进行结构性能试验。

作者简介

杜鹏侠 中国水利水电第五工程局工程技术部 工程师 学士

(收稿日期:1997-04-09)



■ 考察瀑布沟坝址 江宇 摄



■ 考察深溪沟坝址 江宇 摄

由四川省电力局和四川省水力发电工程学会倡议，四川省人民政府组织的大渡河水电考察团于1998年5月11日至5月16日对大渡河进行了考察。



■ 《四川水力发电》召开四届二次编委会 (1998.4.20-21)

活动 掠影



■ 省学会召开常务理事扩大会议 (1998.3.20)



■ 马怀新理事长讲话

摄影报道：李燕辉