

精轧螺旋钢筋先张铁路桥梁的研制

铁道部科学研究院 铁道部第三勘测设计院

铁道兵 6012 工厂 铁 道 兵 科 研 所

铁路小跨度桥梁采用精轧螺旋钢筋先张法预应力混凝土梁,是1982年8月由上述四个单位共同研制成功的。在1982年12月通过部级鉴定后,到1983年底仅铁道兵6012厂就已生产了近300孔梁。生产实践证明它具有生产简便、操作安全、生产周期短等优点,为加速铁路小跨度桥梁预应力化提供了有利条件。本文就梁的结构、施工及试验情况简介如下。

一、梁 体 结 构

设计及研制了跨度16米低高度直、曲线梁;普高直、曲线梁四种。桥梁由两片工形截面梁组成。梁高、梁梗中心距及支座螺栓位置等尺寸均与全路标准设计图相同。为简化施工程序,将桥面混凝土垫层与梁体同时浇筑并计入计算截面。为便于脱模,梁体上缘外侧下梗设计成单坡。梁体预应力主筋采用直径25毫米的45MnSiV IV级精轧螺旋钢筋。沿梁长方向,在预应力筋需要切断的地方用塑料套管隔离钢筋与混凝土之间的粘结。为加强梁体斜截面抗裂性能,适当加强了梁端至 $L/4$ 区段内的箍筋数量,并对跨中至 $L/4$ 区段内的箍筋由原来的四肢改为双臂,间距则加密一倍,以增加梁体表面抗裂性能和抗扭能力。

16米低高度先张梁的外形尺寸及预应力主筋的布置见图1。

二、制 造 工 艺

为了制梁方便及节约材料,设计了梭形整体式偏心台座,台座示意图见图2,台座总长62米,有效长度56.6米。每次可生产三片16米梁或四片12米梁。传力柱尺寸为 80×105 厘米,采用后张预应力混凝土结构,传力柱两端与固定的混凝土端横梁连成一体,活动端横梁与锚固板梁则结合成共同工作的组合结构,因而在保证了结构具有足够的强度和刚度条件下,使得结构较为轻巧,较一般台座可节省约 $1/3$ 的混凝土、 $1/2$ 的钢料。台座设计张拉吨位为11000 kN(1100吨)。

预应力筋的张拉及放松工艺可采用单根张拉动调应力然后整体张拉、整体放松的工艺或采用单根张拉、整体放松的工艺。单根张拉可以采用YC-60千斤顶进行,整体张拉则利用在台座两端设置的四个YQ-500A型千斤顶进行,张拉后用千斤顶的锁定螺筒来固定张拉的伸长值,张拉装置的示意图见图3。

利用专门设计的楔块放松装置与YQ-500A型千斤顶的配合来完成预应力筋应力放松工

作,这样就可以避免由于超张拉放松可能导致的钢筋与混凝土之间粘结破坏等弊病。模块放松装置示意图见图4。

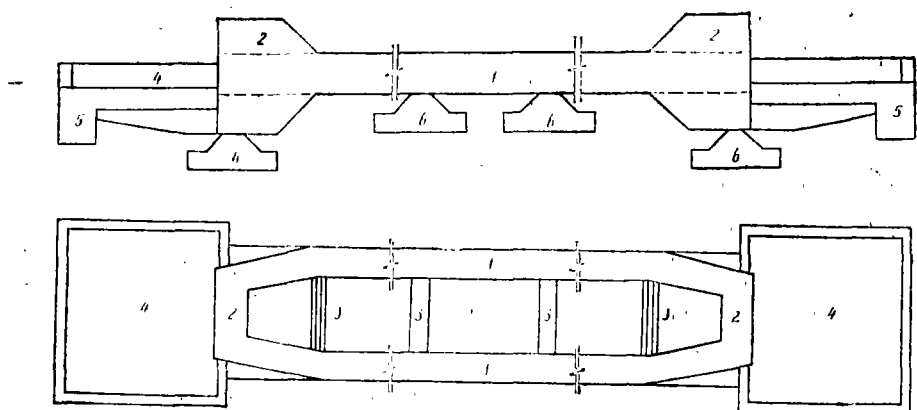


图2 张拉台座示意图

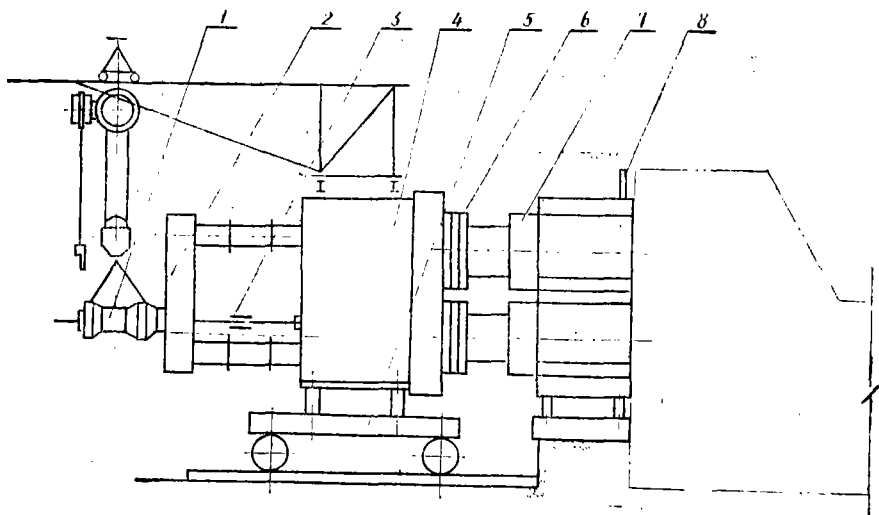


图3 张拉装置示意图

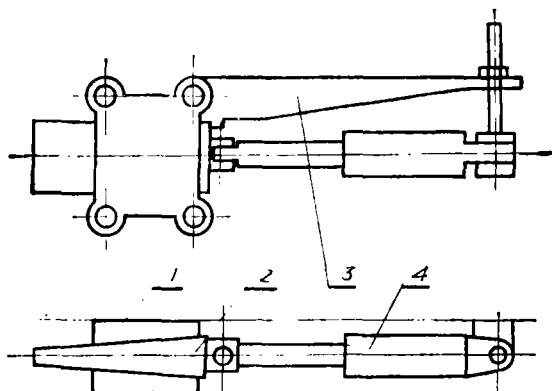
两片梁之间预应力筋的连接以及工具张拉杆和预应力筋的连接,都采用半开式连接器,它拆装简便、安全可靠,为整片梁采用预制钢筋骨架提供了有利条件,因此可以大大减少台座占用时间,连接器构造示意于图5。

经多次实际检验,表明各根预应力筋的张拉力十分均匀,最大误差不超过3%。

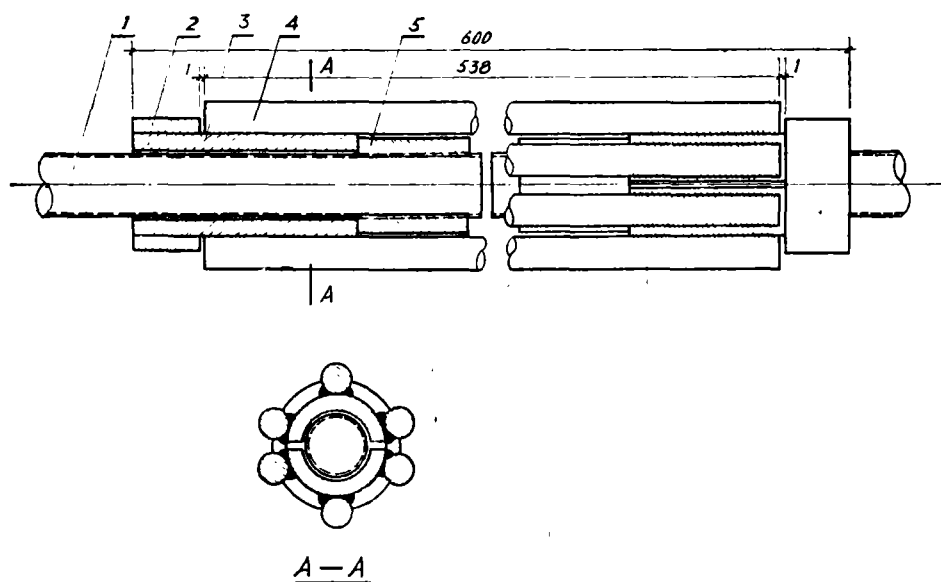
梁体混凝土采用钢模成型,由于在梁体下缘下梗的模板上设置了排气孔,因而改善了梁体表面的质量。模板刚度较大,故坚固耐用,成型尺寸准确,脱模方便。其构造示意图6。

梁体混凝土的强度对于低高度梁为550级、对普通高度梁为500级。应力放张时均要求强

度达到 50N/mm^2 (500kg/cm^2), 混凝土的弹性模量不宜低于 33kN/mm^2 ($3.3 \times 10^5\text{kg/cm}^2$), 为了在尽快的时间内达到上述要求, 在混凝土拌和时掺入 0.7% FDN 减水剂. 采用侧振器及插入式振捣棒对混凝土进行振捣。在混凝土硬化过程中为加速台座的周转以及防止养护过程中出现过大的温差应力, 我们采用“跟踪蒸养”的制度, 升温及降温阶段均进行严格控制。为提高放张时混凝土的成熟度蒸养时间不宜少于60小时。实践证明, 以上措施对提高产品的质量是行之有效的。



1. 单面楔块; 2. 双面楔块; 3. 横杆; 4. 油缸
图4 模块放松装置示意图



1. $\phi 25$ 精轧螺旋钢筋 2. 扣环 3. 支承环 4. 连接筋 5. 螺母

图5 力筋连接器图

一年多的生产实践表明, 精轧螺旋钢筋先张梁的生产工艺简单、安全可靠, 在正常情况下台座周转时间只需 $3.5 \sim 4$ 天, 梁内有效预应力值可以得到保证, 外观质量良好, 梁体上缘在放张时的抗裂性亦可得到控制。

三、试验研究

下面简要介绍根据一系列的试验得到的主要结果。

直径25毫米 45SiMnV精轧螺旋钢筋的机械性能符合国标要求。当 $\rho \geq 0.85$ 时, 其疲劳强度大于 $0.6R_l$, 可以满足铁路桥梁规范的要求。

按照建规规定, 钢筋经冷拉后的弹性模量取用 180kN/mm^2 ($1.8 \times 10^6\text{kg/cm}^2$), 根据我们在不同条件下的试验结果, 汇总于表一, 由表中可以看出, 钢筋经冷拉后弹性模量降为 183kN/mm^2 ($1.83 \times 10^6\text{kg/cm}^2$), 虽经100天的自然时效仍无明显变化, 而经人工时效的则几乎完全恢复。在先张梁内的预应力钢筋, 经解剖梁体取出钢筋进行试验, 表明由于水泥水化热而导致的钢筋时效作用, 使得弹性模量有较大幅度的提高, 即使在梁端外露的钢筋只受有蒸养余温的影响, 弹性模量也有明显的提高。通过计算比较, 采用较高的弹性模量将略为减少抗裂安全系数。因此, 我们建议在张拉阶段采用 $E_y = 180\text{kN/mm}^2$ ($1.8 \times 10^6\text{kg/cm}^2$), 而应力传递及运营阶段可用 $E_y = 200\text{kN/mm}^2$ ($2.0 \times 10^6\text{kg/cm}^2$)。

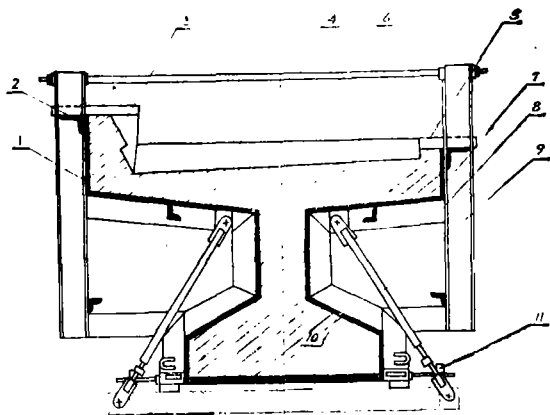


图6 钢模型结构示意图

1. 外侧模 2. 横带兼工作踏板 3. 挡碴墙模 4. 端内模 5. 内边墙模 6. 上拉杆 7. 内侧模 8. 加劲竖带 9. 斜拉杆 10. 排气孔 11. 侧顶杆 12. 底模板 13. 支承横梁

表一

序号	试验条件	钢筋弹性模量 E_y (kg/cm^2)	试件数	比值
1	未经冷拉的原材	2.055×10^6	8	1.000
2	经冷拉但未时效的	1.827×10^6	8	0.889
3	冷拉后经100天自然时效的	1.830×10^6	3	0.891
4	冷拉后经200℃, 0.5小时人工时效的	2.03×10^6	首钢资料	0.988
5	由先张梁内取出的钢筋试件	2.003×10^6	1	0.975
6	梁端外露的钢筋 (温度较高处)	1.977×10^6	1	0.962
7	梁端外露的钢筋 (温度较低处)	1.930×10^6	6	0.939

对掺用FDN减水剂的混凝土所进行的试验表明: 当骨灰比为3.84时, 最佳砂率为30~32.5%, 减水剂以后掺法效果较好。混凝土的实际性能如表二。

掺用FDN减水剂约可使水泥水化热降低10%左右。掺减水剂的塑性高标号混凝土, 其徐变系数略高于同配合比但不掺减水剂的干硬混凝土, 但远小于同配比、坍落度接近的普通

表二

混凝土龄期 (天)	水泥用量 (kg/m ³)	FDN 剂 量 Cx%	抗压强度 (kg/cm ²)	轴压强度 (kg/cm ²)	弹性模量 (kg/cm ²)	附 注
放张时	460~490	0.5~0.7	502	478	3.38×10^5	四片梁随梁制作的 试件之平均值
28天			568	508	3.62×10^5	

混凝土。因此,在设计中可以采用普通混凝土的徐变系数。

由三片实际梁体测得精轧螺旋钢筋的应力传递长度为 $12d$ (约为30厘米),典型的应力传递曲线见图7。

试验表明:分片式铁路桥梁的挡碴墙,即使设置了伸缩缝,实际上它仍然参预受力。在试验时梁体将产生斜弯曲现象。一般造成在外载作用下,梁体外侧下缘拉应力高于内侧拉应力,根据我们对其它一些梁的侧试和计算,这种应力差有的高达50%左右,这种应力不均匀对抗裂性的

影响尚不明确,由于斜弯曲的作用梁体还将产生水平面内的弯曲位移(旁弯)。为使试验时的受力与设计计算相符,我们采取加密伸缩缝及调整伸缩缝断缝的高度,使得本梁由改进前两侧应力差15%降低至5.5%左右。

通过几片梁的实践表明:为保证梁体能达到设计抗裂度的要求,特别应当注意在混凝土硬化期间梁体内外以及梁体和外露钢筋之间都不应产生过大的温差,以防止早期裂纹的发生。图8示出不同养护方法梁体温差的比较,2*测点是养护棚内的气温,由于钢模导热很

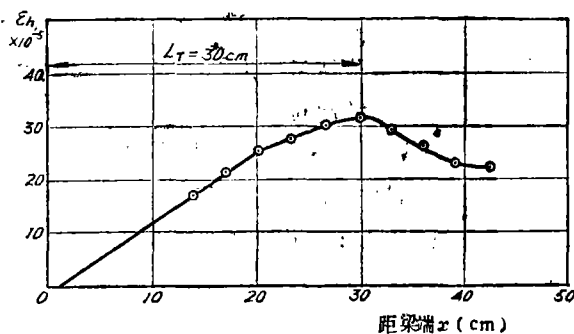
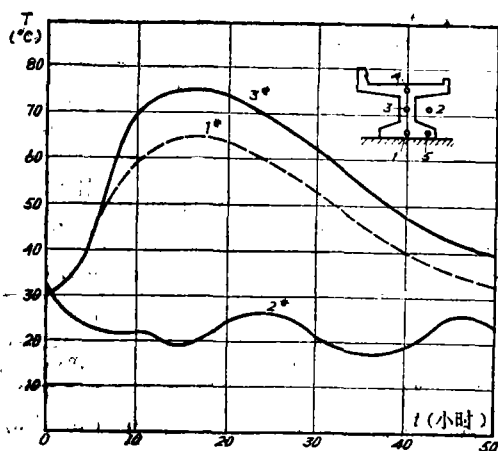
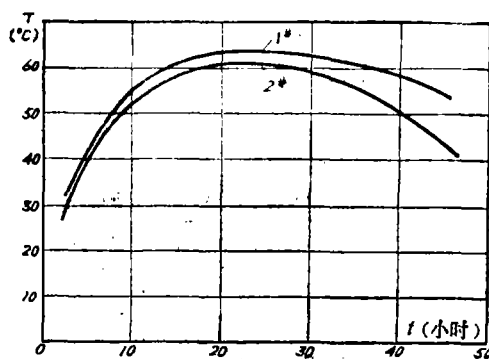


图7 焦003*低高曲线梁实测应力传递曲线图



(a) 自然养护过程中梁内各点温度的变化



(b) “跟踪养护”过程中梁内各点温度的变化

图8 不同养护方法梁内温差的比较

快, 它可以近似代表梁体表面的温度, 在图中可看出, 在自然养护条件下, 梁底在 53 厘米 (半个底宽) 的距离内温差达 48°C , 而改用“跑踪蒸汽养护”制度后, 则温差甚微。在养护期间外露钢筋亦应随梁同时覆盖, 防止由于温差过大造成钢筋与混凝土间的相互滑移。

在应力放松时, 除混凝土强度应当达到设计要求外, 还应注意混凝土的弹性模量亦应达到相应的数值, 否则可能会产生过大的徐变变形, 导致意外的应力损失。当截面中非预应力钢筋含量较高时, 还应考虑它的约束影响。这些已由我们解剖梁体, 释放钢筋应力的试验中得到证实。

通过试验对梁体结构及制造工艺进行改进以后, 梁体具有较高的抗裂性能; 对两片低高度直线梁试验至抗裂安全系数 1.314 未发现任何开裂迹象 (设计 $K_I=1.376$); 对两片低高度曲线梁实际抗裂安全系数均在 1.278 以上 (设计 $K_I=1.313$)。在一般易于早期开裂的下缘上八字处也没有发现开裂迹象。

82 年 2 月对第一片试验梁所进行的破坏试验表明: 梁体在开裂后仍然具有良好的工作性能, 由图 9 看出, 在 $K=1.28$ 时 (即跨中力矩 $M=1.28 \times 383.26=490.6$ 吨米), 弯矩—曲率图有一些转折, 而在挠度曲线图 (图 10) 上仅有微小的变动; 梁体裂纹也非常细密, 直至两倍最大设计荷载下, 最大裂纹宽度也只有 0.15 毫米, 而且卸荷后裂纹完全闭合, 只有约 5% 的残余挠度没有恢复, 说明这种精轧螺旋钢筋由于它与混凝土有良好的粘着性能, 特别适于按部分预应力进行设计; 试验梁在 $K=1.80$ 时, 下翼缘斜面上的竖向裂纹开始发生倾

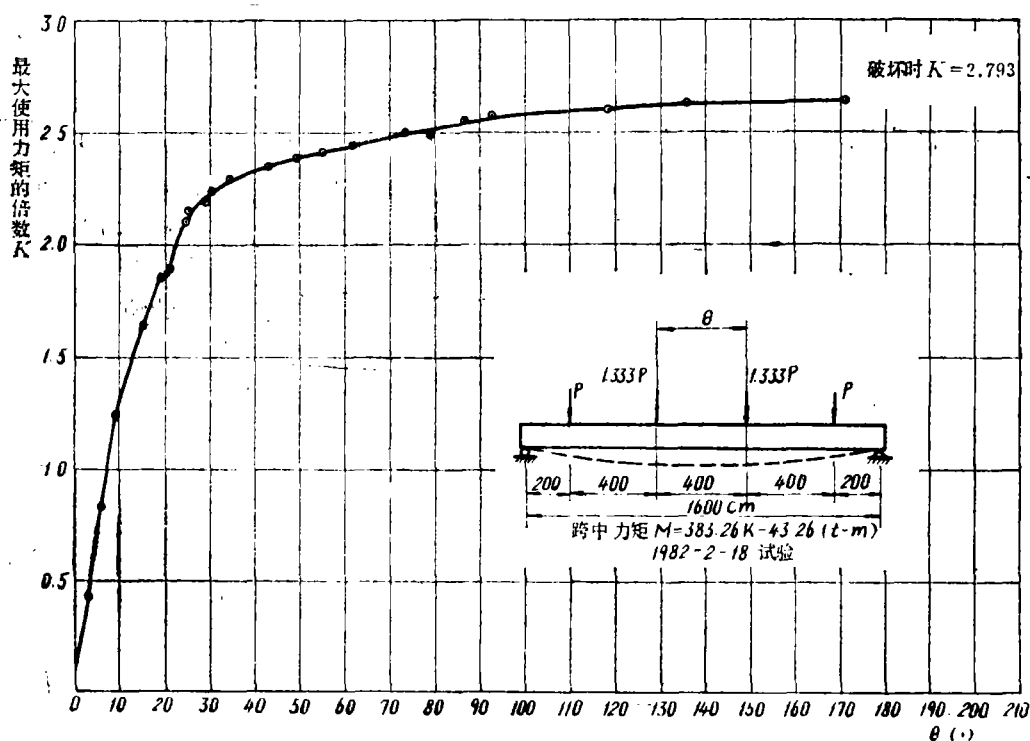


图 9 16米低高度先张梁跨中相对转角与荷载关系

斜, 至 $K=1.90$ 时, 斜裂纹开始进入腹板, 而且斜裂纹是随着荷载的增加而逐步发展的, 说明梁体有较高的斜向抗裂性能。

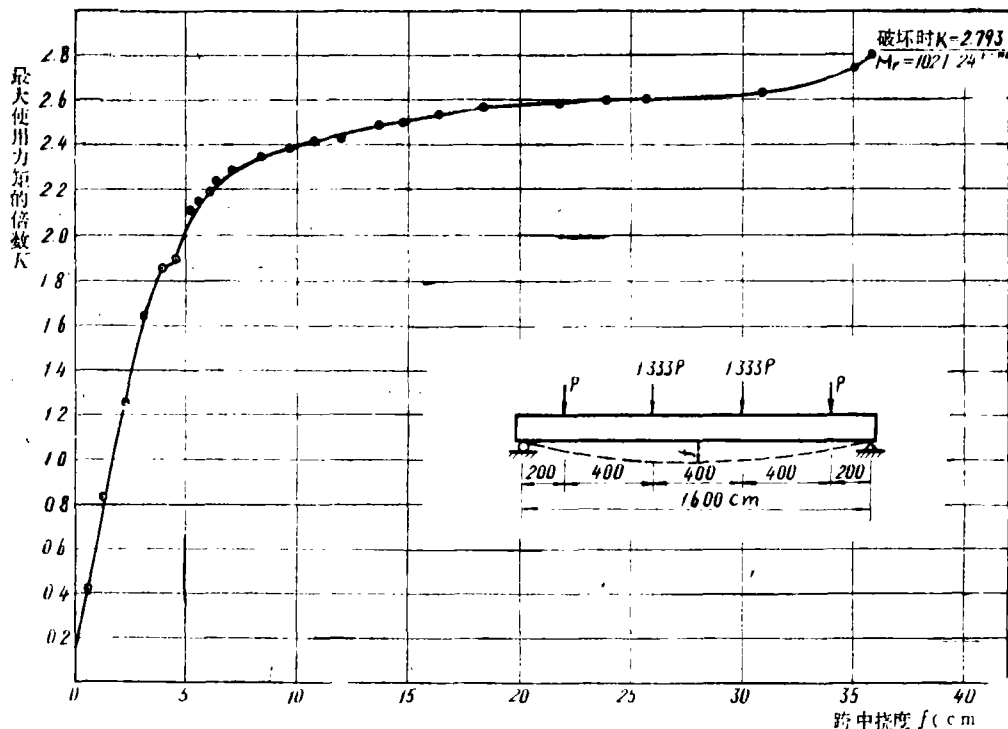


图10 跨中挠度与荷载的关系

在2.793倍最大设计力矩 ($M=1027$ 吨米) 荷载作用下, 由于预应力钢筋发生很大的塑变, 使得中性轴上升, 压区不断减少, 最后在G23, G24测点上部的压区混凝土发生崩毁, 梁体达到了最大极限承载力, 据破坏前两级实测的混凝土应变估计, 压区边缘的压应变超过了0.0035, 预应力钢筋在破坏时的应力已超过了屈服强度, 进入了强化阶段。

(本文由张澍曾、唐诗明执笔)

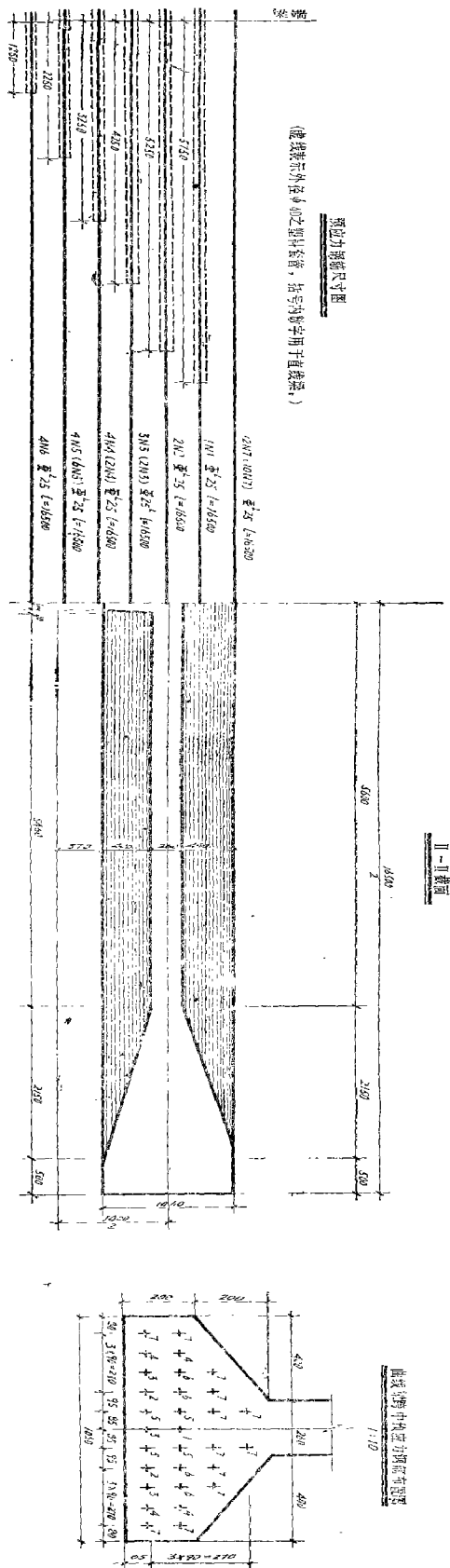
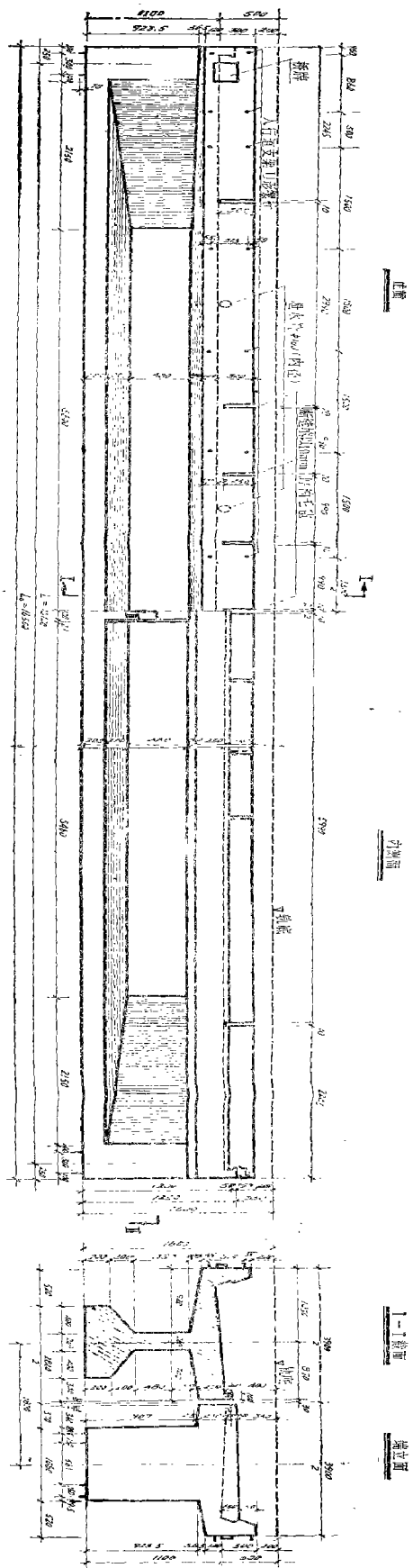


图1 18米高混凝土桥墩结构图及正侧视图