

文章编号:0451-0712(2006)06-0125-04

中图分类号:U445.4

文献标识码:B

福建下白石大桥主桥施工技术

刘玉兰

(湖南路桥建设集团公司 长沙市 410004)

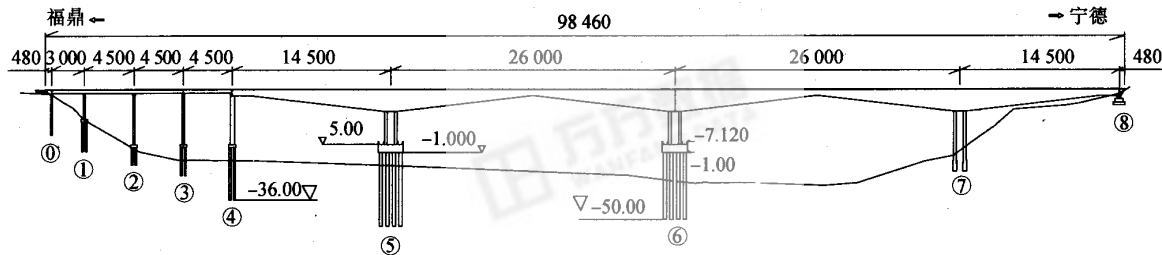
摘 要: 下白石大桥主跨为 260 m,名列国内第三位的大跨径预应力混凝土连续刚构桥,采用悬臂节段整体浇注施工。介绍了主桥箱梁 14 m 高节段的一次悬浇、塑料波纹管真空辅助压浆、精轧高强螺纹粗钢筋锚固、箱梁悬臂施工控制、墙式嵌岩基础等新技术。

关键词: 下白石大桥;连续刚构;墙式嵌岩基础;施工;关键技术

1 工程概况

下白石大桥是同三国道主干线福鼎~宁德高速公路的一座跨海特大桥,主桥为 145 m+2×260 m+145 m=810 m 的 4 跨预应力混凝土连续刚构桥,桥型布置见图 1 所示。桥面宽 24.50 m,上部结构分为两个独立的单箱,墩顶处用四道横隔板连接。单箱顶宽为 12.00 m,底宽为 6.00 m,箱梁墩顶处高 14.0 m,跨中及现浇梁段梁高 4.2 m,顶板厚 25~40 cm,箱梁根部底板厚 140 cm,跨中底板厚 30 cm,根部腹板厚 70 cm,跨中腹板厚 40 cm。箱梁下缘按 1.6 次抛物线变化,悬浇梁段最大控制重量 225.2 t。

主桥箱梁为三向预应力结构。纵向预应力采用 ASTM416-87A270 级钢绞线,钢绞线极限强度为 1 860 MPa,采用 25× ϕ 15.24 和 27× ϕ 15.24 两种钢束,设计张拉力为 4 883 kN 和 5 273 kN。采用塑料波纹管真空辅助压浆新技术。横向预应力钢束采用扁锚,竖向预应力钢筋采用进口 1080 级 ϕ 32 的精轧螺纹粗钢筋。箱梁混凝土强度等级采用 C60。下部结构:主墩为双柱薄壁墩身,高 26 m;基础为 24 根桩径为 3.0 m 的群桩基础和墙式嵌岩基础。箱梁横断面见图 2 所示。



单位:cm

图 1 桥型总体布置

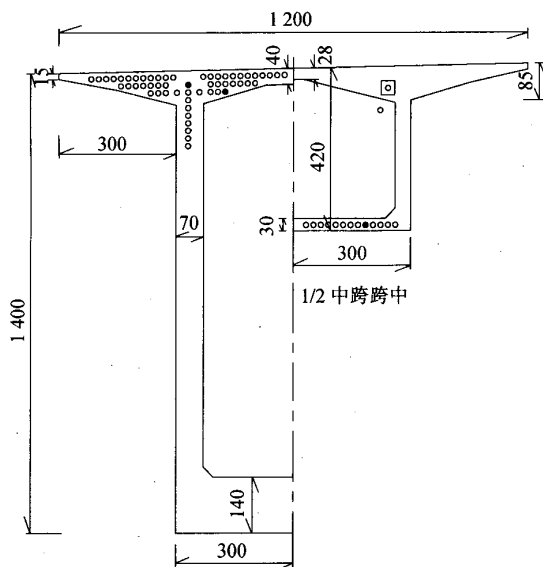
2 主桥箱梁施工技术

2.1 主桥箱梁 14 m 高节段一次悬浇新技术

对于高度大的箱梁节段施工,混凝土悬浇通常分 2~3 次。本桥箱梁根部高 14 m,混凝土 87 m³,首次采用挂篮一次悬浇施工。根据箱梁结构特点,设计了结构简单、受力明确、自重轻、移动快速、横向

刚度大、安全性能好、连接简便和混凝土浇注方便的自锚式后支点轻型滚动挂篮进行箱梁悬臂浇注施工。

挂篮由主桁架、悬吊及锚固系统、行走系统、模板系统和混凝土入仓及分料系统五大部分组成,见图 3 所示。挂篮自重 81.2 t。



1/2 箱梁根部

单位:cm

图2 钢束布置横断面

本桥在以往工艺的基础上,对挂篮关键部位进行创新:

(1)采用整体式内、外模板一次拼装完成后,施工过程中不需解体、拼装;

(2)内侧顶模支架设计成能向两侧伸缩,螺栓锁定,可适应不同腹板宽度的需要;

(3)内模系统上附着混凝土入仓及分料系统,解决了特大高度梁段底板、腹板混凝土入仓及布料难题,见图4所示;

(4)设置了可开关的观察、照明和振捣窗口,以控制混凝土浇注质量;

(5)悬吊及锚固系统采用 20 mm×200 mm 的 16 Mn 钢材作承重吊带,减少了挂篮的挠曲变形,增大了挂篮的刚度;

(6)挂篮上附有纵向预应力张拉工作台和箱梁外腹板升降修饰吊篮,随挂篮一起移动。使纵向预应力钢束张拉、箱梁外腹板修饰工作,方便、安全。挂篮悬浇布料系统见图4所示。

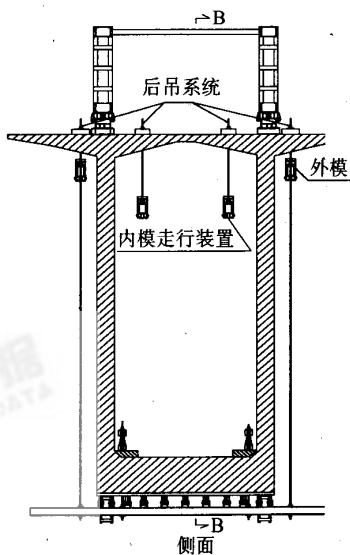
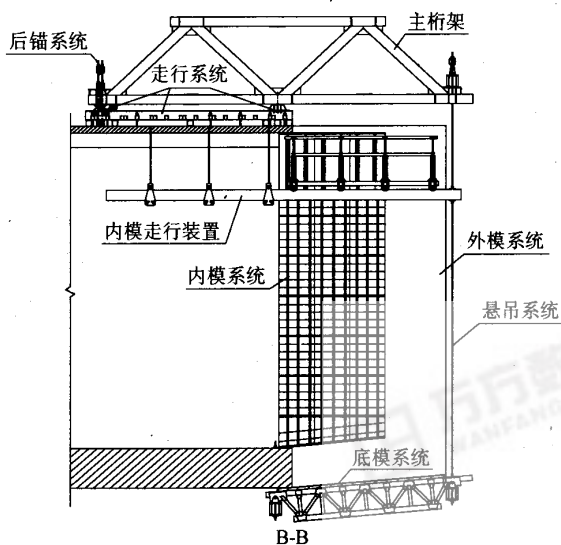


图3 挂篮悬臂构造示意

特大高度梁段采用一次浇注是悬浇箱梁节段施工的一大突破和创新,工程质量得到了有效的控制和保证。混凝土表面平整,外形美观,密实,混凝土抗压强度,外形几何尺寸,满足设计与规范要求。

2.2 塑料波纹管 and 真空压浆技术

箱梁纵向预应力束除中跨底板采用 27 ϕ 15.24 外,其余均采用 25 ϕ 15.24,长度为 21.8 ~ 260.05 m。管道采用塑料波纹管。该材料具有连接

方便、密封性能好、耐磨损、耐腐蚀、刚度较大、绝缘、不易烧穿等优点,孔道摩阻系数和偏差系数分别由金属波纹管的 0.25 和 0.002 降低为 0.14 和 0.001,提高了有效预应力,减少了钢绞线的用量,有效地解决了钢绞线束的电化腐蚀和氧化锈蚀问题,确保了大桥结构的耐久性。为验证塑料波纹管的孔道摩阻损失,现场进行了索长为 102.163 m 和 110.188 m 的孔道摩阻试验测试,得出孔道摩阻系数和孔道偏

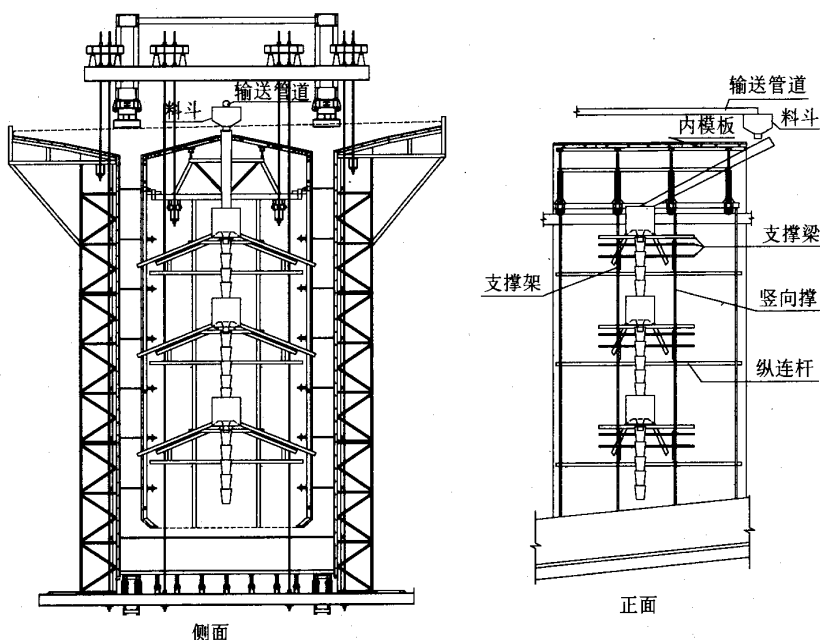


图4 箱梁挂篮悬浇混凝土布料系统

差系数分别为0.12~0.15和0.001,为箱梁纵向预应力束延伸量的计算和参数确定提供了依据。

为提高大桥预应力管道压浆的质量,确保压浆密实度和饱满度,防止预应力钢筋锈蚀和减少预应力损失,本桥采用了真空辅助压浆的新技术和新工艺。真空辅助压浆的优点是通过抽真空,消除管道内的空气和水,同时可消除混在浆体内的气泡和多余的自由水,增强浆体的密实度;浆体内的微沫浆和稀浆在真空负压下率先流出,待稠浆流出后,管道内浆体的稠度即能保持一致,使浆体密实度和强度得到保证;在真空负压下可减少管道高低弯曲而使浆体自身形成的压头差,使压浆能连续且迅速施工,缩短压浆时间,同时保证管道压入均匀密实的水泥浆。而常规压浆,特别是长索压浆因管道长、压浆质量不容易保证,压入的浆体中常含有气泡,易造成管道水泥浆离析、泌水,在管道内形成空隙,使管道内易积水,造成钢绞线锈蚀等问题,给工程留下隐患。

为检验真空辅助压浆质量的实际效果,进一步完善现场压浆操作工艺和指导现场压浆施工,对T29纵向预应力钢束(长度198.85 m),进行了管道真空辅助压浆足尺试验,按设计的结构线形参数布置管道和管束。试验的管道采用25 ϕ 15.28钢绞线,在管束两端距锚固面2.0 m和22.789 m处设半径为20.0 m、夹角为6°的双向平弯;在两端距锚固面1.5 m和5.843 m设半径为15.0 m、夹角为5°的双向

竖弯,采用两端抽真空从中部压浆的方法。经剖芯、切片、抗压检验表明:管道内浆体密实、饱满、均匀,无空洞、无气泡,表面光滑平整,钢绞线每根钢丝间均充满浆体,浆体饱满度达100%,水泥浆强度平均为75 MPa,大于50 MPa的设计要求。水泥浆设计配合比见表1。

表1 孔道水泥浆设计配合比

项目	水泥 kg/m ³	水 kg/m ³	FH 外加剂 kg/m ³	泌水率 %	膨胀率 %	稠度 s
用量	1 500	495	60	0.28	0.18	14
重量比	1	0.33	0.04			

2.3 高强精轧螺纹钢锚固

竖向预应力钢筋采用进口高强度(1080级) ϕ 32 mm的精轧螺纹粗钢筋,设计张拉吨位为782 kN,以增加应力储备。为解决竖向预应力筋的锈蚀问题,在浆体内添加西卡901型钢筋阻锈剂(添加量为水泥用量的3%~4%),使粗钢筋表面形成一层有效的保护膜。

为保证竖向预应力钢筋的锚固效果,减少预应力损失,主桥的竖向预应力钢筋张拉锚固,采用扭力扳手拧紧锚固工艺,控制张拉端螺母的扭矩为2 000 N·m。为控制预应力损失,利用预应力筋张拉力和锚固工艺之间的关系,达到有效控制预应力筋的目的,在施工现场对8根竖向精轧高强螺纹粗

钢筋进行不同扭力作用下的锚固应力损失及竖向预应力损失检测等试验。试验结果:(1)高强精轧螺纹钢粗钢筋,控制张拉吨位为 782 kN,锚固时预应力损失为 18.65 kN,7 d 预应力损失为 24.78 kN,30 d 预应力损失 41.30 kN,高强精轧螺纹钢粗钢筋锚固混凝土预应力损失总体较少,占控制张拉力的 5%;(2)不同扭力锚固时锚固应力损失不同,锚固扭力为 $1\,000\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,锚固应力损失 14.45 kN,锚固扭力为 $1\,500\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,锚固应力损失 11.52 kN,锚固扭力为 $2\,000\text{ N}\cdot\text{m}$ 时,锚固应力损失 7.24 kN。锚固扭力越大,锚固应力损失越小,因此,施工时应采用超张拉,必要时可采用二次张拉。锚固时采用扭力扳手按设计扭力紧固,以严格控制张拉力和锚固力,尽量减少锚固时的应力损失。高强精轧螺纹钢粗钢筋具有预应力损失少、应力水平稳定的优点,对箱梁主拉应力的控制是有效的,且施工控制也方便。

2.4 箱梁悬臂施工变形控制

在施工过程中,以箱梁线形和内力双控为原则,对施工过程的内力和线形进行有效控制,使大桥逐段悬浇合拢,均满足设计受力要求。根据施工监测所得的结构参数(真实值),进行施工阶段计算,确定出每个悬臂浇注节段的立模标高,并在施工过程中根据施工观测的成果对误差进行分析、预测,并对下一立模标高进行调整,以此来保证成桥后桥面线形。合拢段两悬臂端标高的相对偏差要求不大于设计值 20 mm,平面轴线偏差不大于 10 mm。

根据监控测量数据,主桥所有梁段立模标高误差都控制在 $\pm 5\text{ mm}$ 以内,主桥左右幅共 8 个合拢段合拢高程最大误差为 12 mm,平面轴线误差均在 10 mm 以内。大桥成桥后的箱梁线型控制效果好,应力分布正常,与理论计算值吻合,达到设计和施工控制的要求。

2.5 主桥 7 号墩墙式嵌岩基础

7 号墩位处“半水半陆”,临河顺桥向坡崖陡峭,墩位临江侧地面标高为 4.3 m,岸侧地面标高达 7.6 m,横向基岩面裸露明显,起伏奇特,且有大块孤石和漂石,露头的凝灰熔岩岩性坚硬,容重达 26 kN/m^3 ,单轴抗压强度达 40~100 MPa。由于该岸处于河床主流向,流速可达 $1.5\sim 2.0\text{ m/s}$,最大潮差达 8.4 m,平均潮差 6~7 m,周期为 25 h,来大小潮

各一次。原设计为扩大基础,基岩开挖量大,施工难度大。现采用如图 5 所示的墙式嵌岩基础,为 4 根矩形断面,平面尺寸为 $3.0\text{ m}\times 6.5\text{ m}$,嵌入基岩深 8.0 m,墩柱与基础一一对应,采用 C50 混凝土。该方案基岩开挖量仅为原设计的 30%,工程数量仅为原设计的 20%,具有施工方便、安全、省工、省料、降低造价等优点。通过 4 种不同模型的实验研究,墩身顶推实验和应力、应变实桥测试,提出了一套有关新型墙式嵌岩基础的计算方法及水平承载力和垂直承载能力的计算公式。具有重大创新和突破,填补了现有规范的空白。

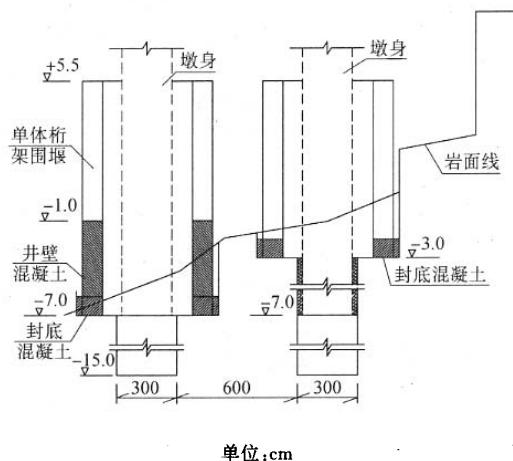


图 5 墙式嵌岩基础

3 结语

下白石大桥是特大跨径预应力混凝土连续刚构桥,大桥多项施工关键技术取得了重大突破。营运 3 年来情况良好,整体刚度大,混凝土收缩、徐变挠度在设计规定规范内,未发现裂缝,为同类桥型的设计、施工提供了宝贵的经验。

参考文献:

- [1] JTJ 041—2000,公路桥涵施工技术规范[S].
- [2] 向中富. 桥梁施工控制技术[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 周军生. 墙式嵌岩基础的设计[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会桥梁学术论文[C],2004.