

预制梁蒸养养护早龄期混凝土力学性能研究

宋铁成

中铁一局集团天津建设工程有限公司 天津 300250

摘要:为响应国家环保政策要求,降低工程施工对周边环境的影响,近年来在公路工程及铁路工程中桥梁预制梁应用比例较高。在建设过程中为减少临时建设占地数量及加快工期进度,预制梁生产效率成为建设者们研究的一项重要课题。本文主要是通过实际案例研究预制梁蒸养养护工艺及早龄期混凝土力学性能,探索减少养护占用时间,从而提高预制梁生产效率的可行性。

关键词:预制梁;蒸养养护;早龄期混凝土;力学性能

1 案例概况

京德高速公路*标段线路总长8413m。全线预制部分全部采用预制T梁,包括16mT梁48片,29mT梁14片,30mT梁3186片,35mT梁83片,40mT梁123片,共计3454片,制梁工期为210天,工期紧张,全部采用蒸养方式,缩短混凝土龄期,提高预制梁的生产效率。

2 蒸汽养护系统

2.1 温度智能控制。控制系统采用自动控制系统,主要包括计算机、输入输出模块、温度传感器等。控制系统,并确保性能稳定,方便设定温度工艺曲线,实时记录蒸养温度和混凝土温度,具有温度超差报警功能,相关数据均应接入信息公共管控平台,进行实时监控管理。

2.2 蒸养室空间尺寸与生产能力、T梁尺寸关系。单片梁养护时T梁混凝土顶面距蒸养室顶面距离不应小于80cm,T梁混凝土的外侧距室壁距离不小于100cm,T梁混凝土端面壁距离不小于100cm。多片梁同时养护时,T梁外侧混凝土的间距不小于80cm。整体布局时应考虑蒸养室空间布置的一致性。一般情况下,月生产能力在30片梁,蒸养室横向空间尺寸应按同时养护2片梁考虑,依此类推确定蒸养室空间尺寸^[1]。

2.3 蒸养室建筑材料保温要求。蒸养室由蒸养棚和变温蒸养设备组成,蒸养棚采用聚氨酯隔热保温层制作而成,蒸养室的建筑材料的热传导系数一般应小于0.002,热传导系数小于0.002的材料厚度不应小于30cm,接缝、转角位置应进行密封处理,施工完成后,应进行整体气密性检测,气密性等级应小于 $1.5\text{m}^3/\text{hr}$ 。

2.4 蒸汽锅炉的供汽压力、供汽量与生产能力、T梁尺寸关系。蒸汽锅炉的供汽压力一般的额定工作压力1.25MPa、额定蒸汽温度194℃,按每方混凝土的蒸汽耗用量一般控制在300~400kg,平均养护24小时计算每方混凝土每小时的蒸汽耗用量,根据T梁总体积,24小时生产

能力计算单位小时需要的供汽量,据此选择蒸汽锅炉型号和输出功率。

2.5 蒸汽管道布置。锅炉产生的蒸汽主要通过管道进行输送,分为每2个台座间顺梁厂长度方向布置的纵向管道、连接纵向管道及锅炉的主管道。管道直径应根据供汽量计算确定;管道在强度和严密性试验合格后,应连续试运行24h,试运行时应控制工作介质的升温速度不大于 $12^\circ\text{C}/\text{h}$ 。排气管与纵向管道的分气阀间采用软胶管连接,并可随需要在台座间调用管道蒸汽喷口离T梁最小距离为30cm,喷口均匀分布在梁的下部,同时注意调整蒸汽喷射方向,避免模板、梁体等处局部直接受热。

2.6 测温传感器布置。T梁钢筋在台座上安装绑扎好后,模板安装之前,在T梁梁体埋置温度传感器,实时监测预制T梁蒸养过程梁体及蒸养室温度变化情况。可采用温度与应变一体化传感器或采用电阻式温度传感器,并接入温度智能控制体系,传感器信号导线长度应预先根据梁体的空间位置设计。T梁温度监测一般投入生产后连续监测三片T梁,确保T梁温度符合蒸养的要求,正常生产后每500片T梁进行1次温度监测,在蒸汽锅炉出现故障后重新投入使用时应重新进行一次温度监测^[2]。

2.7 T梁养护。T梁养护,分为浇筑区带模蒸养、蒸养区蒸汽养护、存梁区自动喷淋养护三个阶段。(1)混凝土浇筑完成后,静置及带模蒸养14h,待T梁强度达到20Mpa,控制液压系统自动拆模,纵向移入蒸汽养生室进行蒸养。(2)蒸养室蒸汽养护,采用智慧变温蒸养系统,高效提升混凝土强度及弹性模量,及早达到张拉条件。T梁混凝土蒸养分升温、恒温、降温三个阶段,其中升温时间为5h,升温速率为 $8^\circ\text{C}\sim 10^\circ\text{C}/\text{h}$,恒温时间为14h,降温时间为5h,降温速率不大于 $10^\circ\text{C}/\text{h}$ 。

(3)蒸汽养护24h后,张拉提梁进入喷淋养生区进行养生。

3 蒸养条件下早龄期混凝土力学性能研究

3.1 研究方向

将以T型混凝土预制梁环形生产线早龄期混凝土为研究对象，混凝土强度等级为C50级，通过试验研究标准养护和蒸养养护两种工况下混凝土的基本力学性能，主要包括立方体抗压强度试验、轴心抗压强度试验、劈裂强度试验以及静力受压弹性模量试验等研究，确定混凝土强度随时间变化的关系，为模板拆除和混凝土T梁预应力

张拉提供技术支持^[3]。

3.2 早龄期混凝土试件设计

混凝土采用的材料与浇筑T型预制梁混凝土相同，设计两大组每组6小组共144个试件，第I大组采用自然养护，第II大组采用蒸养高温养护，第1组到第6组试件龄期分别为0.5天、1天、3天、7天、14天和28天。试件设计如表3-1所示。混凝土试块浇筑静置4小时后，在蒸养室蒸养24小时，之后喷淋养护到预定龄期。

表3-1 混凝土试验设计

组号	龄期/天	立方体抗压试验	劈裂试验	轴心抗压试验	弹性模量试验
1	0.5	6	6	6	6
2	1	6	6	6	6
3	3	6	6	6	6
4	7	6	6	6	6
5	14	6	6	6	6
6	28	6	6	6	6

3.3 强度测试结果

(1) 抗压强度。按照规范中规定的操作步骤进行混凝土立方体抗压试验，测得混凝土不同养护时间的立方体抗压强度。立方体抗压强度由下式计算得到：

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (3-1)$$

式中， f_c 为混凝土试件的抗压强度（MPa）， F 为试件破坏时的荷载大小（N）， A 为试件承受压力的面积（mm²）。每种试件的结果由三次试件区平均数获得，如表3-2所示。

从表3-2可以看出，标准养护条件下，前7天混凝土强度发展非常快，之后混凝土强度有所增加，但增加幅度明显减小；蒸养养护条件下，前3天混凝土强度等级快速增加，龄期为1天的混凝土强度已超过标准强度的50%，龄期3天的混凝土强度也达到28天标准养护强度的84.5%、蒸压养护的85.7%。可见蒸养养护能显著提升混凝土强度发展、缩短拆模时间和预应力张拉时间，提高T梁环形生产线生产效率。

表3-2 抗压强度（MPa）

试件分组	龄期/天	标准养护/MPa	强度水平/%	蒸养养护/MPa	强度水平/%
第1组	0.5	4.1	6.5	6.8	11.0
第2组	1	19.5	31.0	36.5	58.8
第3组	3	37.2	59.1	53.2	85.7
第4组	7	52.6	83.6	56.3	90.7
第5组	14	57.3	91.1	57.5	92.6
第6组	28	62.9	100.0	62.1	100.0

对比分析可以看出，蒸养养护条件下，混凝土早龄期强度发展非常迅速，1天龄期时强度达到36MPa，3天龄期时强度达到53MPa。

(2) 劈裂强度。按照规范中规定的操作步骤进行混凝土立方体劈裂试验，测得混凝土不同养护时间的劈裂抗拉强度。立方体劈裂抗拉强度由下式计算得到：

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} = 0.637 \frac{F}{A} \quad (3-2)$$

式中， f_{ts} 为混凝土试件的劈裂抗拉强度（MPa）， F 为试件破坏时的荷载大小（N）， A 为试件承受压力的面积（mm²）。计算的时候，误差精确到小数点后一位。每种试件的结果由三次试件区平均数获得，如表3-3所示。

表3-3 劈裂抗拉强度（MPa）

试件分组	龄期/天	标准养护	强度水平/%	蒸养养护	强度水平/%
第1组	0.5	0.54	14.6	0.78	21.9
第2组	1	1.04	28.0	2.1	59.0
第3组	3	2.3	62.0	3.05	85.7

续表:

试件分组	龄期/天	标准养护	强度水平/%	蒸养养护	强度水平/%
第4组	7	3.1	83.6	3.24	91.0
第5组	14	3.3	88.9	3.34	93.8
第6组	28	3.71	100.0	3.56	100.0

(3) 轴心抗压强度。按照规范中规定的操作步骤进行混凝土棱柱体抗压试验,测得混凝土不同养护时间的轴心抗压强度。轴心抗压强度计算公式与式3-1相同。计算的时候,误差精确到小数点后一位。每种试件的结果由三次试件区平均数获得,如表3-4所示。

表3-4 轴心抗压强度 (MPa)

试件分组	龄期/天	标准养护	强度水平/%	蒸养养护	强度水平/%
第1组	0.5	3.1	6.2	5.4	10.9
第2组	1	16.3	32.4	27.6	55.1
第3组	3	31.5	62.6	41.6	83.0
第4组	7	42.9	85.3	44.2	88.2
第5组	14	46.3	92.0	46.0	91.8
第6组	28	50.3	100.0	50.1	100.0

3.4 弹性模量测试结果。弹性模量是材料在外力作用下产生单位弹性变形所需要的应力,是材料变形能力的重要参数。混凝土的静力弹性模量定义为受压混凝土应力-应变关系曲线原点处的切线斜率,反映了在弹性阶段混凝土变形特性。如表3-5所示,采用150mm×150mm×300mm棱柱体试件,开展不同龄期混凝土弹性模量测试。

表3-5 弹性模量 (MPa)

试件分组	龄期/天	标准养护/MPa	强度水平/%	蒸养养护/MPa	强度水平/%
第1组	0.5	6.7	15.7	8.9	20.9
第2组	1	15.3	35.9	30.2	71.1
第3组	3	29.5	69.2	35.1	82.6
第4组	7	35.6	83.6	36.9	86.8
第5组	14	38.2	89.7	38.4	90.4
第6组	28	42.6	100.0	42.5	100.0

3.5 对比试验结果

研究标准养护和蒸养养护条件下早龄期混凝土试件基本力学性能,通过立方体和棱柱体试件加载试验,得到不同龄期混凝土立方体抗压强度、立方体劈裂强度、棱柱体抗压强度和棱柱体弹性模量等基本力学性能参数,结果表明:标准养护条件下,龄期7天时混凝土立方体抗压强度、棱柱体抗压强度和弹性模量等已经超过28天龄期混凝土性能的83%;蒸养养护条件下,龄期3天的混凝土立方体抗压强度、棱柱体抗压强度和弹性模量等已经超过28天龄期混凝土性能的85%,即标准养护7天和蒸养养护3天龄期的T梁均满足《公路桥涵施工技术规范》7.8.5条后张法预应力筋和锚固强度要求。

4 结语

本论文以京德高速公路*标段预制T型梁环形生产工艺为依托,通过挖掘T型梁预制生产过程中的蒸汽养生关

键技术,开展了蒸汽养护与标养方式对混凝土强度影响的对比试验,为预制梁拆模时间、养护方式等具有重要的指导意义,证明了蒸汽养护在缩短龄期、提高功效、减少预制梁台座数量、节约用地等方面都有重要意义。但是受时间和条件限制,蒸养养护对混凝土长期力学性能和耐久性的影响尚不清楚,还需进行进一步的研究。

参考文献

- [1]郭啸,刘奕,屈威威等.预制双筋梁蒸养养护早龄期混凝土力学性能研究[J].建筑材料学报,2020,23(3):390-396.
- [2]崔荣发,姚广涛,宋金华等.微纤混凝土预制梁早龄期蒸养养护及力学性能研究[J].硅酸盐通报,2020,39(7):2843-2850.
- [3]宋天奎,吴旭,张增学等.预制钢筋混凝土梁早龄期蒸养养护及力学性能研究[J].江西建材,2020,(3):8-12.