

压缩机基础大体积混凝土施工温度控制

李艳辉 梁鑫迪 何新维 郑 辉

河北华北石油工程建设有限公司 河北 任丘 062500

摘 要：压缩机基础一般属于大体积混凝土，温度裂缝一直是混凝土施工控制的主要内容之一，因此，在施工过程中对温度的控制成为压缩机基础施工的关键技术。本文从混凝土配合比设计、控制混凝土入模温度、保温保湿养护、水冷却措施、测温控制等方面阐述了压缩机基础大体积混凝土施工的温度控制措施，工程质量优良。

关键词：压缩机基础；大体积混凝土；温度控制

引言

随着国内长距离输气管道和储气库项目建设的开展，压缩机应用逐渐增多。而压缩机基础由于体型庞大，属于大体积混凝土，技术措施不到位容易发生结构裂缝。本文以新疆某油田储气库地面场站工程中压缩机基础施工为例，从混凝土配合比设计、控制混凝土入模温度、保温保湿养护、水冷却措施、测温控制等方面入手，阐述压缩机基础大体积混凝土施工的温度控制措施，达到有效控制压缩机基础施工质量的目的。

1 混凝土配合比设计

1.1 材料的选择

在进行大体积混凝土施工时，应该选择水化热低的通用硅酸盐水泥，所用水泥的3d水化热不应该超过250kJ/kg，7d水化热不应该超过280kJ/kg。在本例中，我们选择了一种具有更高的水化热的常规硅酸盐水泥（P.O42.5），它的3天水化热230千焦耳/千克，7天水化热270千焦耳/千克。

细粒料选择中等粒料为好，粒径系数在2.3以上，泥沙含量在3%以下。

粗集料应选择颗粒尺寸为5-31.5毫米、泥沙含量不超过1%的连续级配的粗集料；选择无碱性反应的粗集料为宜。

外加剂的种类和用量应按实际使用的胶凝材料进行实验。

1.2 配合比设计

由具有相应资格的试验室提供，并根据我国目前的《混凝土结构工程施工及验收规范》，《普通混凝土配合比设计规程》，《大体积混凝土施工标准》，《粉煤灰混凝土应用技术规范》等相关技术规定，制定相应的配制方案。

混凝土的坍落度应控制在180毫米以内；混合水量不

得超过每立方米170千克；水泥中的粉煤灰含量应控制在50%以内；在水泥中加入矿渣粉末，其比例应控制在40%以内；在水泥中掺入水泥的比例中，水泥与炉渣的比例之和应控制在50%以内；水泥与水泥的比例不应超过0.45；砂含量应控制在38-45%之间。

在这个例子中，压缩机基础是C40混凝土，具体结构如下：

水：水泥：砂：石子（5-20毫米）：石子：20-40毫米）聚羧酸高性能减水剂：减胶剂：粉煤灰：矿粉 = 145：270：736：477：582：11.04：1.196：100：90。

在配合比中，塌落度为180±30mm，用水量145kg/m³，粉煤灰掺量为胶凝材料用量的21.74%，矿渣粉掺量为胶凝材料的19.57%，粉煤灰和矿渣粉掺量之和为胶凝材料用量的41.3%，水胶比0.34，沙率41%。在施工过程中，除了商业拌和站必须对混凝土的坍落度进行了严格的控制之外，其他各项指标都能达到设计指标的要求^[1]。

2 混凝土绝热温升估算

2.1 水泥水化热计算

$$Q_0 = \frac{4}{7/Q_7 - 3/Q_3}$$

式中：Q₇—在龄期7d时的累计水化热（kJ/kg），PO42.5取值270；

Q₃—在龄期3d时的累计水化热（kJ/kg），PO42.5取值230；

Q₀—水泥水化热总量（kJ/kg）。

将数值代入公式计算，则Q₀ = 310.5（kJ/kg）。

2.2 胶凝材料水化热总量计算

$$Q = kQ_0, \text{ 其中 } k = k_1 + k_2 - 1$$

式中：k₁—粉煤灰掺量对应的调整系数，C40配合比中粉煤灰掺量21.74%，取值0.95；

K₂—矿渣粉掺量对应的调整系数，C40配合比中矿渣

粉掺量19.57%，取值0.93。

将数值代入公式计算，则 $k = 0.88$ ， $Q = 273.24$ （kJ/kg）。

2.3 混凝土绝热温升值计算

$$T(t) = \frac{WQ}{C_p} (1 - e^{-mt})$$

式中： $T(t)$ —混凝土龄期为 t 时的绝热温升（℃）；

W —每立方米混凝土的胶凝材料用量，C40混凝土取值460（kg/m³）；

C —混凝土的比热容，取1.0[kJ/（kg·℃）]；

ρ —混凝土的质量密度，取2500（kg/m³）；

t —混凝土龄期（d）；

e —常数，取值2.71828；

m —与水泥品种、用量和入模温度有关的单方胶凝材料对应系数。

$$m = k(\lambda W_c + B)$$

式中： W_c —单方其它硅酸盐水泥用量，C40配合比中取值270（kg）；

λ —修正系数，普通硅酸盐水泥取值0.88；

A 、 B —与混凝土施工入模温度相关系数；

分别以入模温度10℃、20℃和30℃对应 A 、 B 值代入公式计算，则：

$m(30^\circ\text{C}) = 1.4123$ ， $m(20^\circ\text{C}) = 0.9558$ ， $m(10^\circ\text{C}) = 0.5205$ 。

将相关数据代入混凝土绝热温升公式计算，则： $T(t) = 50.2762 \times (1 - e^{-mt})$

将不同 t 值和不同入模温度下的 m 值代入上式，则绝热温度变化如图1所示：

绝热温升值（℃）		入模温度（℃）		
		30	20	10
龄期	1d	38	30.9	20.4
	2d	47.3	42.8	32.5
	3d	49.5	47.4	39.7
	4d	50.1	49.2	44
	5d	50.2	49.9	46.6
	6d	50.3	50.1	48.1
	7d	50.3	50.2	49
	8d	50.3	50.3	49.5
	9d	50.3	50.3	49.8
	10d	50.3	50.3	50
	11d	50.3	50.3	50.1
	12d	50.3	50.3	50.2
	13d	50.3	50.3	50.2
	14d	50.3	50.3	50.2

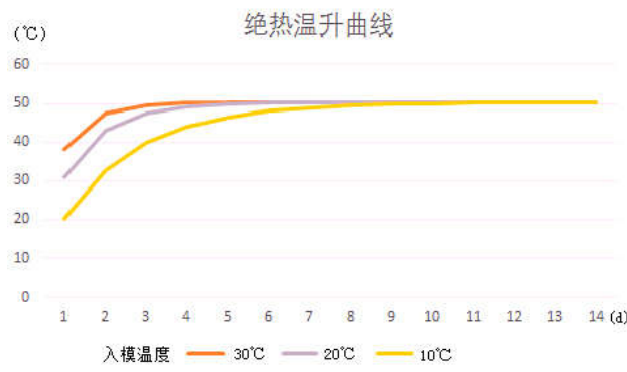


图1

图1可知：常规C40混凝土理论绝热温升值大约为50℃。适当降低混凝土入模温度，可以降低混凝土升温阶段的最高温度。混凝土升温阶段主要集中在浇筑后前3-4天^[2]。

3 控制混凝土入模温度

大体积混凝土入模温度宜控制在5℃~30℃。因此，混凝土到场后，应对混凝土进行测温。考虑基础模板深度大和使用泵送浇筑，测温位置应选在刚刚入模的混凝土部位（为了操作上的便利，测温位置可选在泵送车料斗，可以通过对泵送车布料斗和刚入模部位的混凝土进行测量对比，比较偏差），使用红外线测温仪进行测温，确保混凝土入模温度在5℃-30℃之间。当测得混凝土温度超出上述界限限时，及时通知商混站采取原材料加热（包括使用热水）或降温等措施调整混凝土温度^[3]。

4 保温保湿养护

混凝土收面后，及时覆盖塑料薄膜进行保湿，其上覆盖麻袋片和草帘进行保温。养护期间应结合混凝土表面湿润情况和气温情况，及时适量的进行浇水，保持混凝土表面的湿润状态。混凝土养护应安排专人负责，混凝土保温保湿养护不宜少于14d。

保温覆盖层拆除应分层逐步进行，当混凝土表面温度和環境最大温差小于20℃时，方可全部拆除。

对于冬季施工、面临降温的气候条件，或是昼夜温差比较大的环境，为防止混凝土表面散热过快引起里表温差超过25℃，考虑压缩机基础侧面覆盖保温层效果较差，侧模可以选用双层保温模板，具体做法是：在双层模板之间加木方进行加强，中间填充100mm厚挤塑聚苯板作保温层。养护期间，双层保温模板不拆模，以保证养护质量。

本文实例中，压缩机基础浇筑在10月底进行，考虑有可能会有较大降温，且当地昼夜温差较大，侧模采用了双层保温模板^[4]。

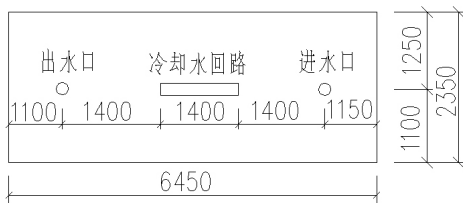
5 水冷却措施

5.1 水冷却措施设计

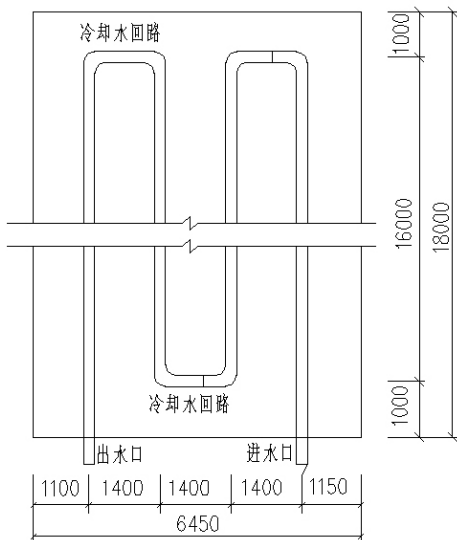
《大体积混凝土温度测控技术规范》(GB/T51028)中规定：“混凝土的厚度大于2500mm、强度等级大于C50，且混凝土入模温度大于30℃，宜采用水冷却方式控制大体积混凝土温度。”“当混凝土厚度不大于3.0m时，宜采用单层多回路水冷却系统。每个回路单元水管长度为150m-200m；冷却单元宽度为5m-10m。”

本文实例中压缩机基础混凝土厚度2.35m、混凝土强度等级C40，虽然不在规范要求必须使用水冷却方式的范围内，但考虑压缩机基础的重要性，仍采用单层单回路水冷却系统来控制大体积混凝土温度。

压缩机基础中水冷却系统冷却水管采用Φ51×3普通焊接钢管(Q235B)，冷却水管水平间距取1.4m，高度设置在混凝土厚度中间部位(约1.1m)，最外侧冷却水管距混凝土边缘约1m左右。基础旁配备水箱和水泵，与冷却水管形成水冷却系统。进水口位置安装流量控制阀，用来调节通水流量。压缩机基础冷却水管布置如图2所示。



压缩机基础冷却水管竖向布置示意图



压缩机基础冷却水管水平布置示意图

图2 压缩机基础冷却水管布置

混凝土浇筑前，冷却水管中应注满冷却水；混凝土

初凝后，应及时启动循环水系统。

通过调节进水流量和水温，控制进水温度和混凝土最高温度之差在15℃~25℃之间，混凝土里表温度之差不大于25℃。

当混凝土内部温降过程趋于稳定后，可停止循环水冷却。水冷却降温结束后，应及时用水泥浆压浆封堵。

5.2 水冷却措施验算

混凝土t时段冷却放热量计算

$$Q_t = C \times \rho \times V \times \Delta T$$

式中：C—混凝土的比热容，取1.0[kJ/(kg·℃)]；

ρ—混凝土的质量密度，取2500(kg/m³)；

V—混凝土体积，压缩机基础取值272.84(m³)；

ΔT—t时段混凝土温差(d)，验算时不考虑水冷却降低部分；

设计水冷却需带走热量计算

$$Q_{cool} = k_c \times Q_t$$

式中：k_c—总热量中被水冷却带走的热量系数，取0.4；

实际每日水冷却循环总质量计算

$$m_w = 3.14 \times r^2 \times v \times \rho_w \times t_c$$

式中：r—冷却水管内半径，取0.022(m)；

v—冷却水流速，取1(m/s)；

ρ_w—水的密度，取1000(kg/m³)；

t_c—混凝土冷却时间，以1d计算，合24×60×60(s)；

实际水冷却带走热量计算

$$Q_{COOL1} = m_w \times C_w \times (T_{out} - T_{in})$$

式中：m_w—实际每日水冷却循环总质量(kg)；

C_w—水的比热容，取4.18[kJ/(kg·℃)]；

(T_{out}-T_{in})—冷却水出口温度与进口温度之差，取6(℃)

以前面计算混凝土入模温度20℃绝热温升为例，将数据代入上述公式进行验算，数据结果如表1所示：

冷却水每日实际带走热量大于理论需带走热量，冷却水管设计满足施工需要。在不间断通冷却水的情况下，理论上从第4天开始进入温降阶段，即需要开始通过测温 and 调节循环水流量控制降温速度^[5]。

6 测温控制

大体积混凝土为防止里表温差超过25℃而发生裂缝，浇筑完成后应立即开始混凝土测温工作。

6.1 温度控制要点

养护期间检测温度包括：压缩机基础底面、中心、顶面温度，环境温度，冷却水进、出水温度。

6.2 测温点布置

压缩机基础采用预埋测温管，使用温度计进行测温。

表1

龄期 (d)	绝热温升值 (°C)	日温升差 (°C)	砼放热 (kJ)	理论需带走热量 (kJ)	日循环水量 (kg)	日循环热量 (kJ)	砼热量累积 (kJ)
1	30.9	10.9	7434890	2973956	131307.3	3293186	4141703
2	42.8	11.9	8116990	3246796	131307.3	3293186	8965507
3	47.4	4.6	3137660	1255064	131307.3	3293186	8809981
4	49.2	1.8	1227780	491112	131307.3	3293186	6744575
5	49.9	0.7	477470	190988	131307.3	3293186	3928859
6	50.1	0.2	136420	54568	131307.3	3293186	772092
7	50.2	0.1	68210	27284	131307.3	3293186	-2452883
8	50.3	0.1	68210	27284	131307.3	3293186	

《大体积混凝土施工标准》(GB50496)规定:“测试区可选混凝土浇筑体平面对称轴线的半条轴线,测试区内监测点应按平面分层布置。”“沿混凝土浇筑体厚度方向,应至少布置表层、底层和中心温度测点。”

结合以上规定,沿压缩机基础纵横中线方向的半条中线布置,水平方向纵向半条中线从中心每2.7m布置1处(共布置4处),横向半条中线从中心每1m布置1处(共布置3处)。每处设置3根 $\phi 30 \times 2$ 普通焊接钢管(Q235B)测温管,分别监测距基础顶面50mm、板厚中心、距基础地面50mm位置温度。

6.3 测温频次及调控措施要求

浇筑后6小时开始24小时连续测温,前三天温升阶段2小时测一次,降温开始后可4小时测一次。

每次测温做好测温记录,并计算混凝土里表温差和进出水温差。

当发现混凝土里表温差超过 25°C 时,应在测温记录中进行备注,并采取控制措施,如调大冷却水流量或往水箱更换冷水降低循环水进水温度等,做好措施控制记录。采取控制措施后,1小时后重新进行温度监测,以检验控制措施的有效性。当温度控制恢复正常后,重新按既定测温频率监测温度。

当发现进出水温差低于 3°C 时,应在测温记录中进行备注,并及时更换冷水,做好措施控制记录。

在温降阶段,混凝土同一测温点测得数据,每天降低温度不能超过 2°C 。当每天温降超过 2°C 时,应调小

冷却水流量或停止水冷却,加密温度监测频次至1小时一次,直至温降恢复正常。同时要在测温记录中进行备注,做好措施控制记录。

混凝土温降稳定后,经EPC和监理确认后,方可停止测温工作^[6]。

结束语

通过控制混凝土配合比设计、入模温度和保温保湿养护,并根据工程实际情况考虑是否采用水冷却措施和双层保温模板,做好温度控制,能有效的控制压缩机基础大体积混凝土施工质量,防止开裂,在场站压缩机基础施工实例中取得了良好的效果。

参考文献

- [1]张国勋,施松兵,潘大为,etal.北京世纪财富中心工程超大体积混凝土底板裂缝控制技术[J].建筑技术,2020,36(10):760-761.
- [2]吕聪儒.异形承台大体积混凝土水化热控制模型及跟踪监测[J].西安科技大学学报,2020(03):297-301.
- [3]卿龙邦,李庆斌,管俊峰.混凝土断裂过程区长度计算方法研究[J].工程力学,2020(04):197-201.
- [4]龙永新.焦碳塔基础混凝土裂缝控制技术[J].石油工程建设,2020,(2):72-74.
- [5]谭俊.大体积混凝土施工中温度裂缝的控制[J].中华建设,2021(10):114-115.
- [6]李民杰.大体积混凝土结构温度裂缝的成因与控制[J].建材与装饰,2020(07):98-99.