

交流特高压晋东南变电站 GIS 组合电器 超长大体积混凝土基础冬期施工方法

贺虎¹, 李韶华¹, 王首谦²

- (1. 国网交流工程建设有限公司, 北京市 西城区 100140;
2. 山西省电力建设四公司, 山西省 太原市 030012)

Winter Construction Method of Mass Concrete Foundation for GIS in 1 000 kV AC Southeast Shanxi Substation

HE Hu¹, LI Shao-hua¹, WANG Shou-qian²

- (1. State Grid AC Project Construction Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100140, China;
2. Shanxi No.4 Electric Power Construction Company, Taiyuan 030012, Shanxi Province, China)

ABSTRACT: The foundation for 1000kV gas insulated switchgear (GIS) in 1000kV AC Southeast Shanxi substation is a ultra-long mass concrete foundation, there are a lot of embedded parts in this foundation with a lot of embedded parts which are large size and the each single piece of the parts is heavy and large-sized. Because it is predetermined to construct this foundation in winter and its designed strength grade is C30, thus it becomes a key problem to prevent the cracks and frost damage of massive concrete during winter construction. In this paper the technical measures adopted in winter construction of mass concrete foundation are emphatically presented, such as environment-protective manufacture of unified concrete mixture ratio, block by block and layer of layer concreting, construction scheme of stepped marching, controlling temperature of mass concrete by warm shed to ensure the ambient temperature within the range from 0°C to 5°C, etc.

KEY WORDS: mass concrete ; winter construction ; construction technology ; concrete curing and temperature measurement

摘要: 交流特高压晋东南变电站 1 000 kV GIS 基础为超长、大体积混凝土基础, 设计强度等级为 C30, 预埋件数量众多、单件大而重, 且施工时正值冬季。因此, 防止大体积混凝土裂缝的产生和冻害, 成为施工时的关键问题。该文重点介绍了施工时所采取的多项技术措施, 包括: 混凝土统一配合比环保配制; 分块分层浇筑、阶梯推进的施工方法; 采用暖棚法对大体积混凝土进行温度控制, 保证环境温度不超过 0~5°C。

关键词: 大体积混凝土; 冬期施工; 施工工艺; 养护测温

0 引言

晋东南变电站 1 000 kV 配电装置采用气体绝缘金属封闭开关(gas insulated switchgear, GIS)设备, 该设备基础是目前国内 GIS 基础中体积最大、承载电压等级最高的, 形式为钢筋混凝土大板基础, 由本体基础、进出线套管基础共 3 部分组成, 其中本体基础长 77.2 m, 最宽处为 20.7 m, 最窄处为 14.6 m, 厚 2 m。地基需换填 1 m 厚灰土, 以消除地基的湿陷性, 混凝土总体积为 3480 m³, 设计强度等级为 C30, 钢筋 201 t, 属超长大体积混凝土结构。基础留设两道 800 mm 宽的后浇缝带, 一道 30 mm 宽的变形缝。单次浇筑混凝土量大, 基础尺寸变化多、配筋多而间距密。多个搅拌站同时供应同强度等级混凝土, 选择原材料要求统一。

本体基础上设置众多的沟道及预埋件, 包括横向电缆沟 20 道, 纵向电缆沟 19 道, 预埋铁件 204 块、接地引下线铜排 264 块, 且对预埋件的平整度及定位尺寸公差精度要求较 500 kV HGIS 更高, 任意两个预埋铁件平面高度偏差不超过±2 mm。

同时, 施工时正值冬季, 室外自然气温最低达 -20°C, 属于严寒地区冬期施工。养护温度监控、防止冻害产生成为施工的技术难点之一。

本文针对晋东南变电站 GIS 基础的实际情况^[1-3], 重点研究防止超长大体积混凝土产生裂缝和冻害的技术措施^[4-7], 包括: 混凝土统一配合比环保配制; 采用分块分层浇筑、阶梯推进的施工方法;

采用暖棚法对大体积混凝土进行温度控制,保证环境温度不超过 0~5℃。本文研究成果已应用到实际施工中,并取得了良好的效果。

1 主要技术措施

防裂缝产生和防冻害是超长大体积混凝土基础冬期施工中最主要的技术难点。为降低水化热温升,防止温差过大,控制裂缝产生,同时防止混凝土的冻害,主要采取以下措施:

1) 采用暖棚法施工,暖棚内温度控制在 0~5℃之间,大气温度在-20~-17℃。

2) 考虑大体积混凝土不宜提前拆模,且要求混凝土表面有良好的保温措施,基础-0.3 m 以下采用 240 mm 砖模(内侧抹灰),外侧回填土。砖模的优点在于:可对砼侧立面长久保温,减小温差;缩短工期,不需要再拆模回填;减小砼外露表面积,保证室外地面以下基础混凝土温度,防止受冻。

3) 因埋设的铁件较大且较重,精度要求高,采用精确定位顶丝微调技术。即:在铁件钢支架上固定微调螺栓,用水准仪控制铁件标高,并进行微调,满足设计标高后焊死,见图 1。这样既控制了任意两个预埋铁件平面高度偏差 $\leq \pm 2$ mm,又保证了铁件的平整度及高出基础表面 10 mm 的要求。



图 1 预埋件精确定位

Fig. 1 Precise positioning of embedded pieces

4) 考虑电缆沟深度为 400~500 mm、埋件锚固钢筋及固定预埋件支架和沉降的要求,基础分 2 层施工,即先施工-1.7~-0.3 m 部分,预埋件安装完及电缆沟支护完后,再浇筑第二层-0.3~0.3 m 部分。

5) 控制混凝土的出罐温度 8~10℃,混凝土入模温度为 6~8℃。

6) 保证混凝土可泵性,同时要控制坍落度在 15~18 cm。

7) 准备好塑料薄膜和草袋等保温材料,根据

测温情况对混凝土及时进行保温养护。

8) 考虑交叉施工车辆易堵塞,为使施工中有充裕的混凝土浇筑接搓时间,将初凝和终凝时间调整到合适时间。将混凝土初凝定为 12 \pm 2 h,终凝时间为 16 \pm 2 h,坍落度定为出机坍落度 200~400 mm,入泵坍落度 160~180 mm,冬施混凝土出机温度控制在 10~12℃,并选用能有效降低或推迟水化热峰值的外加剂。

9) 后浇带的处理。后浇带采用 C35 补偿收缩混凝土,并应加强养护。后浇带两侧采用钢筋单层钢板网隔离,应在两侧混凝土龄期达到 2 个月后再进行浇筑。

2 原材料的选择

1) 水泥。选用山西晋牌 42.5 级普通硅酸盐水泥,技术指标合格。

2) 砂。采用金沙江粗砂,细度模数 2.9。

3) 石子。采用壶关碎石,5~40 mm;

4) 掺和料。采用潞城天林 S75 磨细矿粉,王曲电厂 II 级粉煤灰,改善和易性,降低水灰比,以达到减小水泥用量、降低水化热的目的。

5) 水。采用生活用水。

6) 减水剂。采用陕西恒生 HSP 减水剂。

7) 膨胀剂。采用济源市金通 JTV 膨胀剂,使砼得到补偿收缩,减少混凝土的温度应力。

3 混凝土施工配合比的设计

多个搅拌站同时供应同强度等级混凝土,选择原材料及配合比统一。由于基础施工在冬期,考虑基础大体积混凝土水化热高,运输不会受冻,除采取罐体保温外应控制混凝土的搅拌温度,对水泥、砂、石、粉煤灰及外加剂的掺量等均在试验基础上进行选择。结合该工程的特点,采用工程所用的原材,进行配合比设计与试配,经过校正与调整、复试,按试配结果确定配合比见表 1。

表 1 混凝土配合比

Tab. 1 Mixture ratio of concrete

项目	水	水泥	矿粉	粉煤灰	减水剂	膨胀剂	砂	碎石
密度/(kg/m ³)	163	237	73	34	8.5	34	820	1003
重量比	0.431	0.627	0.193	0.090	0.022	0.090	2.169	2.653
用量/盘	326	4774	146	68	17	68	1640	2006

4 混凝土施工工艺

大体积混凝土采用商品混凝土,采取分块分层浇筑、阶梯式推进的施工方法,见图 2,图中尺寸

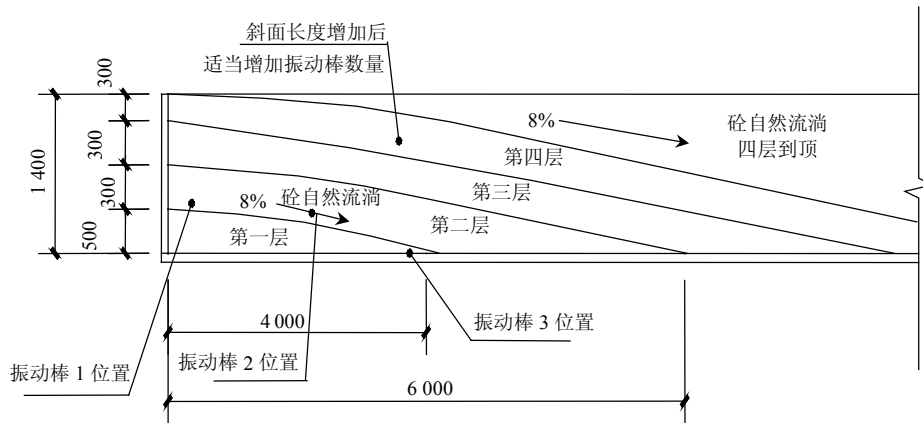


图 2 基础浇筑分层示意

Fig. 2 Diagram of layered pouring of the foundation

单位为 mm。砼浇筑速度控制在 30~35 m³/h。每层混凝土应在初凝前完成上层浇筑，新旧混凝土接槎时间不允许超过 8 h。砼浇筑顺序立面示意图如图 3 所示，其中 5、6 部位为后浇带。



图 3 基础浇筑顺序立面示意

Fig. 3 Elevation diagram of groundwork pouring order

特殊部位(如钢筋较密、插筋根部、斜坡上下口处)需重点加强振捣。砼振捣由有经验的振捣工进行，每个班组不少于 6 根振捣棒，插点采用行列式，间距 400 mm，振捣上层砼时应插入下层 50 mm，振捣时振捣棒不得碰撞模板、预埋件、钢筋，防止其发生位移。

底板混凝土表面，要求抹 3 遍，1 遍木抹搓平，2 遍铁抹压实，以减少表面收缩裂缝。

5 混凝土施工养护及温控措施

1) 混凝土的养护。混凝土振捣压抹以后及时覆盖塑料薄膜，上部覆盖 2 层草帘，保温保湿养护。

2) 温控方案。冬施过程中为保证大体积混凝土无冻害无裂缝采取“内降外保”的技术措施，使混凝土内外温差不超过 25℃。

3) 测温布点方案。每次浇筑的砼板块内均埋设测温线，每个测温点均设上、中、下 3 根测温线，采用电子测温仪测设温度，电子测温导线每组 3 根，标识清楚，共 8 组。测温点探头布置分上、中、下 3 个探头，其中上、下探头距砼上下表面各 100 mm。砼浇筑后前 3 天升温阶段每 4 h 测一次温度，当要接近水化热峰值时每 2 h 进行一次测温，降温阶段每 6 h 测温一次，并做好测温记录，当砼内外温差

超过 25℃ 时，需及时采取措施，如加强保温、热水养护等，使内外温差控制在 25℃ 以内。测温点设置如图 4 所示。图中尺寸数值单位为 mm。

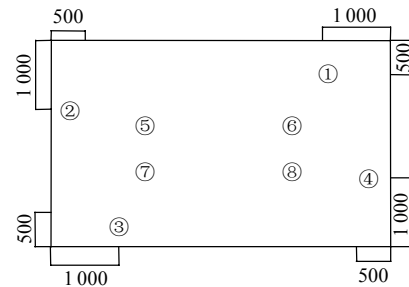


图 4 测温点设置

Fig. 4 Setting of temperature measurement point

4) 测温结果分析。通过现场所采集到的混凝土内部温度升降变化数据资料，绘制测区温度曲线，见图 5。由图 5 可见，混凝土内部在浇筑前 3 天时温升曲线急速上升，到第 3 天时达到水化热引起的温升最高值 40.2℃。在第 4 天后内部温度逐渐下降，到第 7 天时温度明显下降，总体的降温曲线下降趋势比较平缓，表明混凝土中掺入粉煤灰及膨胀剂降低了单方水泥用量，起到了降低峰值的作用。混凝土结构中部的温升值为结构各点处温升的最高值；结构表面处的温度曲线波动性较大；底部的温度曲线变化趋势平缓，与中部点的温度平均差值也较小；结构中上部与底部的降温趋势相似，但中

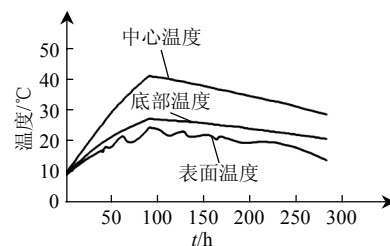


图 5 测区温度曲线

Fig. 5 The measured temperature curves

部降温速率小于底部的降温速率。

另外,表面处的温度曲线波动性大的原因是由于受外界温度的影响,当外界气温变化时表面温度也随其变化,从中可以看出表面覆盖保温层的重要性。当保温效果不好时,其曲线波动特别明显,保温效果好时,表面温度曲线非常平滑。通过加强表面保温工作以及严格控制拆模时间才可以降低混凝土内部的温度梯度,防止混凝土温度裂缝。

测温结果证明混凝土中心最高温度与混凝土表面温度之差以及混凝土表面温度与环境温度之差均小于 25°C ,满足规范要求。

6 组织及协调

成立混凝土调度小组,负责商品混凝土调度管理,确保GIS基础混凝土施工。在混凝土浇筑期间,配备足够的混凝土罐车,保持浇筑的连续性,防止混凝土冷缝的产生。做好现场交叉作业的协调工作,现场设置标志线,并有负责安全的专责看护,确保GIS超长大体积混凝土施工安全顺利进行。

7 结论

1) 大体积混凝土工程冬期施工是可行的,混凝土的温度以及温度应力可得到有效控制。本基础经电力质量监督总站及专家检查验收,实体质量满足设计及验收规范要求。

2) 大体积混凝土冬期施工应采用暖棚法施工。当棚外温度为 $-17\sim+20^{\circ}\text{C}$ 时,棚内温度可以控制在 $0\sim5^{\circ}\text{C}$ 之间,可有效地保证混凝土不受冻害。

3) 冬期基础大体积混凝土施工可采用掺合料粉煤灰、膨胀剂、大体积混凝土专用泵送缓凝剂进行施工,可以有效地推迟水化温升峰值的出现。对大体积混凝土采用集中搅拌、统一配合比、泵送施工的方法是保证混凝土质量的有力措施之一。

4) 实例表明基础施工的体积为 $3\,480\text{m}^3$ 、厚度 2m 时,采用上述措施可控制混凝土内的最高温度

为 44.2°C ,最大温差为 22.2°C 。这对于保证混凝土的质量、不产生温度裂缝是有利的,并成为大体积混凝土冬期施工的主要控制措施。

5) 对于超长、超大体积的混凝土冬季施工,一定要经过事先精心策划和准备,优化方案和技术措施,组织和协调措施到位。

参考文献

- [1] 梁旭明,张国威,徐玲玲,等. 1 000 kV 交流特高压试验示范工程的生产准备工作与实施[J]. 电网技术, 2008, 32(5): 12-16.
Liang Xuming, Zhang Guowei, Xu Lingling, et al. Investigation and implementation of production preparation for 1 000 kV AC test and pilot project[J]. Power System Technology, 2008, 32(5): 12-16(in Chinese).
- [2] 孙竹森,李震宇. 特高压交流试验示范工程现场建设管理机制研究[J]. 电网技术, 2008, 32(13): 5-9.
Sun Zhusen, Li Zhenyu. Study on worksite management mechanism of 1 000 kV UHVAC pilot project from Southeast Shanxi via Nanyang to Jingmen[J]. Power System Technology, 2008, 32(13): 5-9(in Chinese).
- [3] 贺虎,韩书谟,王延豪,等. 交流特高压晋东南变电站1 100 kV GIS设备的现场安装管理[J]. 电网技术, 2009, 33(4): 11-16.
He Hu, Han Shumo, Wang Yanhao, et al. Worksite installation management of 1 100 kV GIS for UHVAC Southeast Shanxi substation [J]. Power System Technology, 2009, 33(4): 11-16(in Chinese).
- [4] 中国建筑工业出版社. 建筑施工规范大全[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [5] 郭杏林. 混凝土工程施工细节详解[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007: 132-332.
- [6] 李继业,刘福臣. 建筑施工质量问题与防止措施[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2003: 26-38.
- [7] 陈尧启,陈煜. 主体工程施工技术及质量通病防治[M]. 上海: 同济大学出版社, 2000: 167-170.



贺虎

业建筑施工技术。

收稿日期: 2009-03-27。

作者简介:

贺虎(1960—),男,高级工程师,研究方向为电网建设管理、电网施工技术, E-mail: hu-he@sgcc.com.cn;

李韶华(1964—),男,工程师,研究方向为土木建筑施工技术, E-mail: shaohua-li@sgcc.com.cn;

王首谦(1961—),男,工程师,研究方向为工

(责任编辑 李兰欣)

云南—广东 $\pm 800\text{kV}$ 直流示范工程进入调试启动阶段

日前,云南—广东特高压直流示范工程启动验收委员会召开会议,对云广直流工程的建设、调试、投产作出安排部署。该工程是南方电网“十一五”西电东送重点工程,也是世界上首个 $\pm 800\text{kV}$ 直流输电工程,额定输电容量 500万kW ,输电距离 1373km 。目前,该工程换流站电气安装总体完成近 70% ,直流线路组塔完成 99% 以上,架线施工完成 96% 以上。按照计划,4月底到5月初广东穗东换流站交流场启动带电;5月中旬,云南楚雄换流站交流场启动带电;5月下旬,两端换流站开始站系统调试;6月下旬开始极二带负荷系统调试;7月30日前,极二 $\pm 400\text{kV}$ 设备投入试运行;12月30日前,极二 $\pm 800\text{kV}$ 设备投入试运行。该直流工程的建设不仅可满足小湾、金安桥等大型水电站送出和“十一五”云电送粤的需要,也为西南地区水电大规模、远距离送出积累了实践经验。