

浅谈沙戈荒大基地百万千瓦级煤电间冷塔大直径X型钢管自密实混凝土施工

高翔

中国电建集团核电工程有限公司 山东 济南 250102

摘要：传统火力发电依赖水冷，耗水量大，而间冷塔节水率超70%，适合干旱地区，还能与碳捕集结合助力绿色转型。甘肃区域腾格里沙漠大型风电光伏基地是国家“十四五”重点推进项目，公司承建的甘肃华电金昌腾格里2×1000MW煤电项目将作为其配套调峰电源，保障电力系统稳定运行和新能源消纳。此外，基于工程实践，采用“沙戈荒”地区圆砾等地材试配自密实混凝土，结合膨胀剂并通过顶升法浇筑，成型的混凝土各项指标均满足设计要求。

关键词：间冷塔；X钢管柱；自密实；顶升法

1 工艺原理

间冷塔斜支柱用顶升法浇筑，液压泵将混凝土从X柱底部顶升口沿管道泵送，自下而上填充柱内空腔，靠混凝土自重和泵压均匀密实浇筑。顶升压力要克服摩擦与钢筋阻碍，确保升至设计标高。自密实混凝土试配结合当地骨料特性，以西北沙戈荒边缘冲击圆砾或卵石为主料，控制原料选用和配合比，配出合格材料。控制膨胀剂、减水剂用量，水灰比0.37，各材料用量分别为水泥372kg、粉煤灰36kg、矿粉47kg、膨胀剂62kg、砂847kg、石882kg、水190kg、减水剂15.5kg。

2 施工工艺流程及操作要点

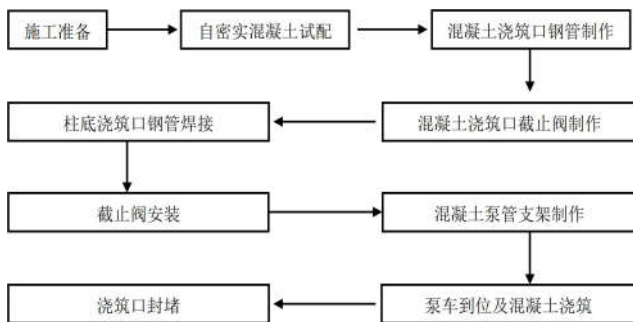


图1 自密实混凝土试配、施工工艺流程

2.1 施工准备

(1) 人员准备：实验室工程师有10年以上混凝土试配经验；施工工长有8年以上混凝土施工经验；作业人员经严格培训，60%以上有3年以上自密实混凝土顶升施工经验，并对人员进行技术交底。

(2) 材料设备准备：选用五种混凝土外加剂、砂浆、空啤酒瓶、自密实混凝土J型环、中联重科混凝土车载泵等。试配前按设计及规范准备粗细骨料等，自密实等级为Ⅱ级。顶升前备好三辆车载泵等，将输送管管

口焊至X柱预留孔，搭设固定支架。

(3) 试配与浇筑顺序：试配顺序为原材料选用→膨胀剂选用→初始配合比设计→试配主要参数→测试性能→样板浇筑观感→确定最终配合比；顶升浇筑顺序为制作钢管及截止阀→焊接安装→搭支架→泵管泵车就位→润管→顶升→浮浆处理→关阀补浇；每榦浇筑后，下一榦按对应顺序浇筑，如先浇第1榦，再浇第24榦，接着第13榦、37榦，形成4个区间段，以此类推至48榦。

(4) 施工进度及人员安排：按X柱计划提前完成试配。梁、板钢筋安装后8小时内布置预应力筋，期间水暖、电安装可交叉作业。^[1]

2.2 自密实混凝土膨胀剂膨胀性能试验

考虑西北环境及现场，混凝土需具良好流动性等，高压泵送无离析，3小时扩展度损失不超30mm，初凝不超8h；膨胀剂应符合要求，以膨胀率保浇筑后管内无缝隙，保结构安全。

按图纸，选国标Ⅰ型膨胀剂，确保混凝土自由膨胀率 $0\sim6\times10^{-4}$ 。经调研，选出5个备用厂家。

2.2.1 依规范用啤酒瓶法筛选：

第一：备五种膨胀剂、PO42.5水泥、饮用水和10个同种啤酒瓶。

第二：取水泥1350g、受检膨胀剂150g、水675g，搅拌120s后，分两次倒入啤酒瓶，每次拍瓶赶气。每种膨胀剂留两组对照样，编号标注。

第三：灌注后刮平上口，用塑料薄膜封堵并用胶带粘牢。

第四：同温放置观察瓶是否裂缝。静置8小时，正宜、三源瓶碎，格瑞特等未碎；12小时后仍未碎，故拟采用1号或2号膨胀剂。

2.3 自密实混凝土初始配合比设计

根据图纸设计及规范要求，选用初始配合比，加入水泥、粉煤灰、矿粉、膨胀剂、中砂、碎石、水及减水

剂进行拌合，在胶凝材料总重不变情况下，试配（容积15L）时，分别加入8%、10%、13%不同掺量膨胀剂，具体试配如下表所示：

表1 自密实混凝土初始配合比设计表

	水泥（kg）	粉煤灰（kg）	矿粉（kg）	膨胀剂（kg）	中砂（kg）	1-2cm碎石（kg）	0.5-1cm碎石（kg）	水（kg）	减水剂（kg）
8%膨胀剂掺量	383	41	52	41	842	701.6	175.4	190	15.5
	5.74	0.62	0.78	0.62	13.02	10.52	2.63	2.46	0.233
10%膨胀剂掺量	372	41	52	52	847	705.6	176.4	190	15.5
	5.58	0.62	0.78	0.78	13.10	10.58	2.65	2.46	0.233
13%膨胀剂掺量	357	41	52	67	855	712	178	190	15.5
	5.35	0.62	0.78	1.01	13.22	10.68	2.67	2.45	0.233

对自密实混凝土和易性等主要参数试配确认状态。经多次试配测试，正宜扩展度等部分参数满足要求，但3h-5h流动性不达标；三源膨胀剂各项参数均满足设计要求，选三源SY-G1型高性能膨胀抗裂剂为主要试配对象。

2.4 成型限制膨胀率及强度测试

用千分仪复测选定混凝土膨胀率。清理试件盒涂脱模剂，灌满混凝土后安装千分仪，十四天后装入试件测得膨胀率 $0.02 \geq 0.015$ ，1号高性能膨胀抗裂剂满足图纸及《GB50119-2013》要求，选其为主要试配对象。

2.5 实际成型及样板浇筑观感质量

经过对自密实混凝土样板的制作，确定其现场实测扩展度（如图2.5-1）及成型后的观感质量（如图2.5-2）符合要求。



图2 自密实混凝土J环试验



图3 自密实混凝土样板制作

2.6 试块强度复核

28天后，对试块强度进行验证，五组试块强度均满足C40混凝土强度要求，故确定该配合比满足现场使用要求。

2.7 自密实混凝土浇筑设备安装

（1）车载泵布置

本工程钢管混凝土X柱高度达到30.5m，混凝土强度高，为避免产生堵管等问题，根据工程实际情况，拟配置三台混凝土车载泵，混凝土浇筑时使用其中两台，一台作为备用泵，泵送压力18MPa，车载泵与泵管直接连接。

（2）泵管选择

泵管的选择对泵送的施工影响较大，管径越小则输送阻力越大，但管径过大，其抗爆能力变差，而且混凝土在管道内流速变慢、停留时间过长，影响混凝土的性能。根据本工程实际采用Φ125×4（壁厚）的泵管，直管分节有3000、2000、1000mm，弯管有45°、90°，局部采用异形管，泵管接口采用平口法兰连接，现场泵管使用水平长度约15m，垂直高度30m（X柱高度）。

（3）泵管固定

顶升口设置在支墩顶钢柱+0.5m处，进料孔接出500mm处通过止回阀与车载泵泵管连接。

（4）截止阀设置

在顶升口泵管出口500mm处设置一截止阀，便于泵管维修和清洗及终止混凝土浇筑，截止阀采用与泵管（125mm）同规格型号，截止阀通过法兰与顶升口泵管连接。

2.8 自密实混凝土顶升施工

2.8.1 混凝土顶升浇筑顺序

为防不均匀沉降，48榀自密实混凝土柱分四个区间对称浇筑，顺序为一至四区间。以首根吊装好的钢管柱为第一区间起点，每12榀为一区间。每榀浇完，下一榀

正对已浇X柱,如先浇第1榀,再浇第24榀,接着第13榀、37榀,依此推至48榀。因用两台车载泵,第一、二区间可同时浇筑。

2.8.2 自密实混凝土泵送顶升

X钢柱一次顶升混凝土量约40.5m³,顶升压力较大,为防底部扰动,顶升前浇筑完X柱柱墩及0.5m以下管内混凝土,利用0.5m处顶升口浇筑,顶升口处柱截面局部加固。

混凝土顶升前,提前计算每根钢管柱需浇筑方量并预留富余,本工程每根X柱至少准备50m³自密实混凝土,确保连续浇筑。顶升时专人记录泵压及实际顶入量,与理论值比较。

泵送前断开钢管侧泵送连接插管,先泵送清水和砂浆各0.5m³,待混凝土充满泵管再接好插管向钢管内泵送,润滑输送管的水泥砂浆不得注入钢管。

每车混凝土灌注前检测坍落度和扩展度,泵送前需在660-700mm之间且不大于700mm,否则易致柱顶混凝土离析,不满足要求不得灌注,现场专人测试记录。

清除钢管柱顶部浮浆后停泵约5min,待混凝土沉降充分后再次泵送注满,稳压1-3min后关闭截止阀,拆除输送泵管。

顶升完毕30min后观察柱顶混凝土,若下沉则人工补浇。

混凝土灌注后立即覆盖柱顶,养护期间表面不能见干,终凝后洒水保湿养护。

顶升完成后移动混凝土泵,清除钢管上混凝土残渣及水泥浆,检查砼密实度,敲打钢管柱顶及侧面,异常则用超声波检测,不密实部位钻孔压浆补强后补焊封固。

顶升结束两天后割除短管,用原钢板封堵顶升孔,打磨平整后涂装与钢管柱相同油漆,再进行下道工序。

混凝土顶升施工及时取样,每工作班施工的混凝土试块留置不少于一组。

2.8.3 自密实混凝土养护

混凝土灌注完毕后应立即覆盖柱顶混凝土,养护期间,混凝土表面不能见干,待混凝土终凝后洒水保湿

养护。

3 施工注意事项

3.1 泵送前断开钢管侧插管,先泵送清水和砂浆各0.5m³再泵混凝土,充满泵管后接管向钢管内泵送,不得用砂浆替代混凝土注入钢管。

3.2 柱顶混凝土初凝前除浮浆,终凝后剔毛至外露石子,顶面与管顶齐平。

3.3 斜支柱左右肢钢管同时顶升时,保证混凝土基本同步,顶面高差 $\leq 0.5\text{m}$,控好2台泵压力,专人看护料斗卸料速度。

3.4 浇筑前算好单柱混凝土量,运到现场再顶升,防运输中断顶升。

3.5 泵送料斗混凝土顶面超容量2/3,淹没吸入口 $\geq 0.5\text{m}$,防吸入空气。

3.6 管内混凝土浇灌7d后人工敲击检查并记录,超声波检测。敲击要求:每根钢管1m一个检测断面,每断面4个点,柱底敲至柱顶,空响为异常,标记记录;异常时加密检测点确定超声波探伤范围,标识,强度达100%后复检,柱位协商定;超声波异常则钻孔确认,脱粘率 $> 20\%$ 或空隙 $> 3\text{mm}$ 时灌浆补强,复查密实,钻孔塞焊封固打磨。^[2]

4 结束语

沙戈荒大基地百万千瓦级煤电间冷塔大直径X型钢管自密实混凝土施工工艺研究,填补了该地区大型钢管混凝土顶升施工工艺的空白,缩短了施工工期,提高了建筑物质量,取得了良好的效果,同时也得到业主和第三方监理的好评。

参考文献

- [1]张启亮,电厂间冷塔x柱施工技术创新与探索,《四川建筑》,2017,37(04):239-241.ISSN:1007-8983
- [2]韩文星,余露雨,丁发兴间冷塔钢管混凝土X形柱节点受力优化分析《钢结构(中英文)》,2025(06),ISSN:2096-6865