关于变电站土建结构设计的安全性及耐久性探讨

任晓鹏

内蒙古超高压供电公司 内蒙古 呼和浩特 010000

摘要: 变电站土建施工质量控制的重点集中于地质适应性、多专业协同、材料工艺精度、抗灾能力落实及监管标准化等环节。需通过精细化勘察、动态工艺优化及全流程监管体系, 系统性降低质量风险。通过极限设计验证、材料工艺优化、灾害适应性强化及智能运维管理, 可系统性提升变电站土建结构的安全性及耐久性, 延长服役寿命并降低全周期维护成本。

关键词: 变电站; 土建结构设计; 安全性; 耐久性

变电站土建结构设计中的安全性及耐久性, 确保变电站结构的稳固与长期使用。分析变电站土建结构设计原则; 指出变电站土建结构中存在的问题; 提出变电站土建结构设计的安全性及耐久性的实现路径, 从而推动变电站土建设计向更安全、更耐久的方向发展。

1 变电站土建结构设计基本原则

1.1 结构安全优先原则。极限状态设计。结构设计需满足承载能力极限状态与正常使用极限状态的双重标准: 前者要求构件在最大荷载下保持稳定, 避免整体失效或不可逆变形, 通过荷载分项系数、结构重要性系数等参数保障抗压、抗拉性能达标; 后者需控制标准荷载下的长期与短期效应(如裂缝宽度、变形量), 确保结构在服役期内功能完整, 避免耐久性过早退化。材料与荷载验证^[1]。采用高强度混凝土并控制水胶比、碱含量等参数, 减少裂缝扩展风险; 通过动态荷载模拟验证极端条件(如地震、风荷载)下的结构稳定性。

1.2 功能适配与布局优化原则。选址与总平规划。选址需综合考虑负荷中心位置、地质条件、交通便利性及环境影响, 优先避开洪涝高发区、生态敏感带, 并减少对周边规划的干扰; 总平面布局采用模块化设计, 明确划分主变区、配电装置区等功能分区, 通过紧凑布置降低土地占用, 同时满足消防、检修通道等要求。竖向与基础设计。场地标高需高于历史最高洪水位及内涝水位, 结合土方平衡优化竖向布置, 减少填挖工程量; 基础设计需验算抗拔力与抗倾覆稳定性, 必要时采用混凝土配重或桩基加固。

1.3 环境协调与灾害防护原则。环境适应性设计。针对温湿度变化、腐蚀性介质(如盐雾、氯离子)采取防护措施, 如增加混凝土保护层厚度、使用阻锈剂或表面涂层技术延缓钢筋锈蚀; 屋外变压器设置围栏并控制安全间距, 避免外物坠落或环境侵蚀影响设备运行。灾

害防御机制。结构设计中融入抗震设防(如设置隔震支座)、防风加固(如优化构件连接节点)及防洪排涝措施(如场地排水系统), 提升极端气候下的抗灾能力。

1.4 全生命周期管理原则。标准化与协同设计。遵循国家及行业标准(如《变电站建筑设计技术规范》), 统一设计、施工、验收标准, 确保全流程可控; 施工阶段严格把控混凝土密实度与养护条件, 运维阶段定期检测结构损伤(如裂纹、氯离子渗透)并动态调整维护策略。智能化与可持续性。应用传感器技术实时监测结构性能(如应变、腐蚀速率), 结合BIM技术优化全寿命周期管理; 推广自修复混凝土、纳米改性材料等新技术, 减少后期维护成本。

2 变电站土建结构定期维护与检测的重要性

2.1 安全隐患识别与预防。结构损伤检测。通过定期检查混凝土裂缝、基础沉降及钢筋锈蚀程度, 可及时发现潜在结构缺陷(如梁柱开裂、地基变形), 避免因局部破坏引发连锁倒塌事故。采用无损检测技术(如超声波探伤、回弹仪测试)评估混凝土强度及密实度, 确保承载能力符合设计要求。灾害风险防控。对地震、暴雨等极端气候下的结构稳定性进行专项检测(如隔震支座性能验证), 防止灾害引发二次损失。

2.2 延长结构使用寿命。材料老化控制。定期监测混凝土碳化深度及氯离子渗透率, 及时修复保护层剥落部位, 延缓钢筋锈蚀速率。对屋面防水层、防腐涂层等防护系统进行闭水试验及附着力测试, 阻断腐蚀介质侵蚀。维护措施优化。通过清理排水系统(如盲沟、集水井)及加固填土边坡, 减少积水渗透对基础的侵蚀。

2.3 保障电力系统运行稳定性。设备基础精度维护。定期校准设备基础定位误差(如预埋件偏移 $\leq 3\text{mm}$), 避免因土建结构变形影响电气设备安装精度。检测设备支架及钢构件的螺栓紧固状态, 防止因松动导致设备振

动或位移。减少非计划停电。通过预防性维护降低突发性结构故障风险（如地基塌陷、墙体倾斜），保障供电连续性。

2.4 合规性与法律风险规避。标准符合性验证。依据国家规范（如GB 50010）对结构安全等级、抗震设防参数进行周期性复核，确保合法性。形成完整的检测报告及维护记录，应对监管部门抽查并降低法律纠纷风险。

2.5 经济效益提升。运维成本优化。早期修复小范围损伤（如局部裂缝注浆）的成本仅为大规模返工的10%-20%，显著降低全生命周期费用。避免因结构失效导致的设备损毁（如变压器倾倒），减少高额更换成本。

3 变电站土建结构设计常见问题及对策

3.1 选址与规划问题。选址标准模糊。部分项目因缺乏明确的选址规范，导致主观性和随意性较强，易选择地质条件差（如洪涝高发区）或邻近生态敏感区的位置，增加后期运维风险^[2]。对策：制定选址评估体系，结合负荷中心、地质稳定性及环境影响综合决策，优先避开历史洪水位以下区域。竖向设计不合理。场地标高未充分考虑极端气候（如暴雨、内涝），或未优化土方平衡，导致填挖工程量过大，增加成本及施工难度。对策：采用BIM技术模拟场地地形，结合历史水文数据优化标高设计，减少土方调整。

3.2 结构稳定性问题。承载力不足。部分设计未严格验算极限状态（如地震、风荷载下的抗倾覆能力），导致构件裂缝、变形甚至局部坍塌。对策：采用动态荷载模拟技术验证极端工况下的结构稳定性，并通过分项系数调整优化配筋方案。材料参数控制不当。混凝土水胶比过高或保护层厚度不足，加速碳化及钢筋锈蚀，降低耐久性。对策：选用高强度低渗透混凝土，添加阻锈剂，并严格监控施工阶段的密实度与养护条件。

3.3 功能布局与细节缺陷。总平面规划混乱。功能分区（如主变区、配电区）划分不清晰，或消防通道、检修空间预留不足，影响设备运维效率。对策：采用模块化布局，明确分区界限，并通过三维模拟验证设备安装与操作空间。排水与防护措施缺失。屋面防水设计不合理或场地排水系统不完善，导致渗漏或积水问题频发。对策：优化屋面坡度及排水路径，增设防水涂层，并在地面设置盲沟或集水井提升排水效率。

4 变电站土建结构施工质量控制难点

4.1 地质条件与场地适应性。复杂地质条件。变电站选址常受限于电网规划，部分区域地质稳定性差（如软土、高填方区），导致基础处理难度大，易引发不均匀沉降或抗拔力不足。例如，未充分勘察地下水位或岩层

分布，可能导致桩基承载力不达标。场地排水与标高控制。场地标高未结合历史洪水位设计，暴雨或内涝时易积水，影响基础稳定性；土方平衡未优化，导致填挖工程量过大，增加施工成本与工期。

4.2 专业交叉与施工协调。多工种协同问题。土建与电气安装存在交叉作业（如预埋管线、设备基础定位），若土建施工误差超标（如预留孔洞偏移），将直接影响设备安装精度，甚至需返工。隐蔽工程验收风险。混凝土浇筑密实度、钢筋保护层厚度等隐蔽工程若未严格验收（如蜂窝、麻面未处理），后期易引发结构腐蚀或耐久性下降。

4.3 材料与工艺控制。混凝土质量缺陷。水胶比控制不当或养护不足（如冬季低温未保温），导致混凝土早期开裂或强度不足，加速碳化及钢筋锈蚀。防水与防腐薄弱点。屋面防水层施工不规范（如接缝处理粗糙）、未使用阻锈剂或涂层技术，易引发渗漏或结构腐蚀。

4.4 极端气候与灾害防御。抗灾设计执行偏差。抗震构造措施（如隔震支座安装）或防风加固节点（如钢结构连接）未按设计要求施工，降低结构整体抗灾能力。极端气候适应性不足。高温、盐雾等环境未针对性优化混凝土配比或防护措施，导致混凝土表层剥落、钢筋锈蚀速率加快。

5 变电站土建结构设计安全性与耐久性提升方法

5.1 结构安全性提升。极限状态设计与荷载验证。采用承载能力极限状态与正常使用极限状态双控设计，通过动态荷载模拟验证极端工况（如地震、风荷载）下的抗倾覆与抗变形能力；合理调整荷载分项系数与材料强度分项系数，确保构件承载能力满足规范要求。结构整体性与冗余设计。通过优化构件连接节点（如钢结构焊接、混凝土构件锚固）提升整体牢固性，防止局部破坏引发连锁倒塌；设置冗余支撑体系（如斜撑、剪力墙），分散荷载传递路径，降低单点失效风险。

5.2 耐久性优化措施。混凝土材料与工艺控制。选用高强度、低水胶比混凝土，控制氯离子含量及碱集料反应，延缓碳化与钢筋锈蚀速率；严格监控浇筑密实度与养护条件（如冬季保温、夏季保湿），减少蜂窝、麻面等缺陷。防护层与阻锈技术。增加钢筋保护层厚度至规范要求的1.2倍以上，并添加阻锈剂或采用环氧涂层钢筋，阻断腐蚀介质渗透；在暴露部位（如屋面、基础）涂覆聚氨酯防水层或硅烷浸渍剂，提升抗渗与耐候性。

5.3 环境适应性设计。灾害防御机制。在地震高发区采用隔震支座或耗能减震装置，减少地震能量对上部结构的冲击；针对盐雾、酸雨等腐蚀环境，优化混凝土配

比并采用耐候性涂层技术。排水与地基处理。场地标高设计需高于历史洪水位，并设置盲沟、集水井等排水系统，避免积水侵蚀基础；软土地基采用桩基复合地基或换填加固，降低不均匀沉降风险。

5.4 全生命周期管理。智能化监测与维护。植入光纤传感器或应变片实时监测结构应力、裂缝扩展及腐蚀速率，实现损伤早期预警；结合BIM技术建立数字化运维模型，动态更新维护计划并优化维修策略。标准化施工与验收。推行隐蔽工程全数验收（如钢筋绑扎间距、防水层搭接长度），确保施工质量符合设计要求；制定定期检测制度（如每5年一次氯离子渗透率测试），及时修复局部损伤。

6 提高变电站土建结构施工质量的措施

6.1 强化材料与工艺控制。材料质量把控。建立供应商评估体系，严格验收钢筋、混凝土等关键材料，确保其强度、氯离子含量等参数符合国家标准；对暴露部位（如屋面、基础）采用环氧涂层钢筋或添加阻锈剂，延缓钢筋锈蚀速率。施工工艺标准化。推行模块化施工流程，明确混凝土浇筑、防水层搭接等关键工序的操作规范，减少人为误差；应用BIM技术模拟施工过程，提前预判管线碰撞、设备定位冲突等问题，优化施工路径。

6.2 完善质量监管体系。全过程动态监控。设置专职质检员，对钢筋绑扎间距、模板支撑稳定性等隐蔽工程进行全数验收，杜绝蜂窝、麻面等缺陷；利用光纤传感器或应变片实时监测混凝土裂缝、结构应力变化，实现质量问题早期预警。信息化管理工具。采用工程项目管理软件记录施工数据（如材料批次、养护时间），形成可追溯的质量档案；通过移动终端实时上传现场检查结果，确保整改措施及时落实。

6.3 优化施工组织与人员管理。专业化团队建设。定期组织施工人员参与技能培训，重点强化混凝土振捣、防水层施工等关键工艺的标准化操作；对焊工、测量员

等特殊工种实行持证上岗制度，确保技术能力达标。多专业协同管理。建立土建与电气安装的联合交底机制，统一预埋件定位、设备基础标高误差标准（如 $\pm 3\text{mm}$ ）；通过每日例会协调交叉作业冲突，避免因工序衔接不当导致返工。

6.4 环境适应性与灾害防御。极端气候应对措施。在高温、盐雾区域优化混凝土配比（如添加硅灰），并采用覆膜养护或喷淋保湿工艺减少收缩裂缝；暴雨季节前完成场地排水系统（如盲沟、集水井）施工，确保基础不受积水侵蚀。灾害防御技术应用。地震高发区采用隔震支座或耗能支撑，严格按设计要求控制节点焊接质量；软土地基优先采用桩基复合地基，并通过载荷试验验证承载力。

6.5 全流程质量验收与优化。分阶段验收标准。制定混凝土强度回弹、防水层闭水试验等专项验收指标，明确不合格项的返工标准；引入第三方检测机构对关键部位（如设备基础、钢结构连接）进行复核。施工后评估机制。竣工后3个月内开展质量回访，重点检查沉降、渗漏等潜在问题并限期修复；结合历史项目数据优化施工方案，形成标准化作业指导手册。

总之，对变电站土建结构设计的安全性与耐久性的深入探讨可以看到，优化变电站土建选址设计、变电站土建基础结构处理、准备阶段的配合设计、混凝土设计是确保变电站土建结构安全稳定、延长使用寿命的关键。在保障电力系统稳定运行、促进经济社会发展的同时，确保人民生活的安全与和谐，实现可持续发展的目标。

参考文献

- [1]张健.变电站土建设计中的结构安全性与耐久性建设.2023.
- [2]王荣华.变电站土建设计中的结构安全性与耐久性分析.2023.