

Research on Improving the Plane Precision of Secondary Survey Control Network in Nuclear Power Plants

Qiankun Liu

China Nuclear Engineering Survey & Design Research Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract

The secondary survey control network of nuclear power plants is an important benchmark for engineering positioning, civil construction and equipment installation, which is of great significance to construction quality control. With the development of nuclear power construction and technology, the requirement for its plane precision is increasing. This paper discusses strategies to improve precision from optimizing network layout, adopting advanced survey technology and strengthening quality control, and verifies their effectiveness through case studies. The results show that comprehensive measures can significantly improve the plane precision of the control network, ensuring the construction quality and safe operation of nuclear power plants.

Keywords

nuclear power plant; secondary survey control network; precision improvement; network layout scheme; survey technology

核电厂次级测量控制网平面精度提升研究

刘乾坤

中核勘察设计研究有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要

核电厂次级测量控制网是工程定位、土建施工与设备安装的重要基准, 对建设质量控制意义重大。随着核电建设与技术发展, 其平面精度要求不断提高。本文从优化布网方案、采用先进测量技术、强化质量控制等方面探讨精度提升策略, 并结合案例验证其有效性。结果表明, 综合措施可显著提升控制网平面精度, 保障核电建设质量与安全运行。

关键词

核电厂; 次级测量控制网; 精度提升; 布网方案; 测量技术

1 引言

核电站建设是一项大型的复杂工程, 建设周期较长^[1], 建设内容多, 对工程的施工以及安装精度要求较高。次级测量控制网作为核电站建设中的重要组成部分, 对核电站精密工程的安装精度及建设质量均有重要意义。因此, 如何提升核电厂施工平面控制网的精度, 是核电厂建设过程中需要解决的关键问题之一。

2 次级测量控制网概述

次级测量控制网是核电厂测量系统的关键部分, 在首级控制网基础上布设, 用于施工定位、放线及变形监测, 为建构物、设备与管道提供精准定位。它既为土建施工、设备安装提供基准, 保障定位精度, 又可在运行期监测核岛等设施变形, 同时为日常检修提供测量依据, 对核电安全与运维至关重要。

【作者简介】刘乾坤(1990—), 男, 中国河南郑州人, 本科, 工程师, 从事测绘工程方面的研究。

3 次级测量控制网的建立及精度要求

次级测量控制网主要是根据首级控制网的某个基准点及某个方向作为基准, 起算其平面坐标。次级测量控制网点位应根据核电厂总平面布置图和施工总布置图并结合施工场区内、外的地形条件进行布设, 并应满足厂区内主要建筑施工测设和变形监测的需要。通常, 次级测量控制网是由多个平面及高程控制点所组成的, 能够组成相对独立的三角网。由于次级测量控制网的精度较首级测量控制网要求更高, 因此通常是以独立网的形式施测。次级测量控制网的参考基准通常以建筑物的主轴线为平面坐标轴, 从而建立起一个局部的坐标系。

次级测量控制网通常以点位坐标中的误差作为精度衡量指标。在设计点位时, 应遵循经济合理和长期使用的原则, 将网点设置在便于观测、地基较为稳定且不易变形的稳定区域。根据《核电厂工程测量标准》的要求, 次级测量控制网的点位平面坐标中误差 $\leq 2\text{mm}$ 。

目前, 我国核电厂次级测量控制网的精度水平总体上能够满足基本要求, 但仍存在一些问题和不足。大多数核电

厂采用传统的测量方法建立次级测量控制网，控制点间距一般在 50-100 米之间，点位精度通常在 $\pm 2\text{mm}$ 左右。这种精度水平对于一般的工业测量任务尚可满足，但对于核电厂某些特殊区域和精密设备的测量需求来说，仍显不足。

4 次级测量控制网精度提升策略

首先，我们要明确的是，核电厂次级测量控制网的精度提升并非一蹴而就，而是需要综合考虑多种因素，采取多种技术手段共同实现。影响次级控制网精度的因素较多，主要包括测量仪器精度、测量方法、环境条件、数据处理技术等^[7]。测量仪器精度是决定控制网精度的基础因素，高精度的全站仪能够显著提高测量结果的准确性。测量方法的选择和操作规范也会对精度产生重要影响，不同的测量方案可能导致不同的精度水平。环境因素如温度、湿度、气压等变化会引起测量仪器的误差，而核电厂特殊的环境条件（如辐射、振动等）可能进一步加剧这种影响。此外，数据处理方法和软件的选择也会影响最终的控制网精度，先进的数据处理技术能够有效消除或减弱各种误差的影响。

为提高核电厂次级测量平面控制网的精度，本研究提出以下策略：

(1) 优化控制网布设方案。优化布设方案是提升次级测量控制网精度的有效途径。在次级测量控制网的布设过程中，应充分考虑厂区的具具体地形、建筑物分布以及施工进度等因素，合理选择控制点的位置。控制点应设置在便于观测、地基稳定且不易变形的位位置。通过合理布置控制点，可以减小观测误差，提高控制网的精度。根据核电厂的具体布局 and 测量需求，合理设计控制网的图形结构和控制点密度。对于关键区域和精密设备附近，可适当增加控制点密度，采用更为稳固的控制点标志，以提高局部精度。同时，考虑将次级控制网与主控制网进行更紧密的联测，增强整体控制网的稳定性和可靠性。

(2) 加强质量控制。质量控制是确保次级测量控制网精度的关键环节之一。在测量过程中，应加强对测量设备、观测环境、观测人员等方面的质量控制，确保测量数据的准确性和可靠性。

(3) 改进测量方法。采用高精度的测量仪器，如 0.5 秒级全站仪，提高单点测量精度。在测量过程中，严格执行测量规范，根据天气条件和施工进度等因素，合理规划观测时间，确保观测数据的准确性和可靠性。观测时可以增加测回数，采用往返测量等方法，减小偶然误差的影响。对于重要区域，可考虑使用精密测距仪、激光跟踪仪等先进设备，进一步提高测量精度。

(4) 数据处理与分析。数据处理与分析是提升次级测量控制网精度的最后一道关卡。在数据处理过程中应采用专业的平差软件对测量数据进行处理和分析，利用计算机技术和专业软件，实现数据处理的自动化和智能化，提高计算效率和准确性。同时，还应加强对数据处理结果的检查和验证

工作，确保处理结果的准确性和可靠性。最后，建立完善的数据管理系统，对测量数据进行长期监测和分析，及时发现和解决可能影响控制网精度的问题。[3]

5 案例分析

为验证上述精度提升策略的有效性，本研究选取某核电厂次级测量控制网进行案例分析。[5] 该核电厂次级测量控制网点分为北区次级网点（JM03、JM09、JM10、JM11、JM12J、M15）和南区次级网点（JM07、JM08、LH01、LH02、LH03、LH04、LH05、LH06、LH07、LRA1、LRA2、LRA3、LRA4），由于建筑物遮挡，南、北两区次级网点不能够通视，且 JM08、LH01、LH02、LH03 与其他南区次级网点通视性较差。

为满足新的测量需求，决定对该控制网精度进行提升改造。

首先，优化控制网布设方案。为了优化网形，提高次级测量控制网精度，本次次级平面控制网测量以控制点（JM07、JM08）作为起算点，增加 JD01、JD02、JD03、JD04、JD05、JD06、JD07 和 JD08 八个控制点与次级网点布设成三角网。三角网形如图 1 所示。

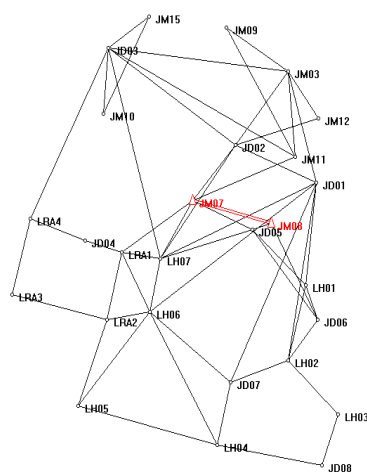


图 1 次级网点位图

其次，加强质量控制。在测量前对测量设备进行严格的检定和校准，确保设备的精度和性能符合要求。在观测过程中，选择成像清晰、大气稳定的有利时间进行观测，避免恶劣天气条件对观测数据的影响。同时，还加强了对观测人员的培训和考核，提高观测人员的专业技能和责任心。

然后，改进测量方法。使用 0.5 秒级徕卡全站仪按二等三角网观测技术指标执行。进行水平角观测时，采用全站仪全圆方向观测法，观测 6 个测回。每半测回每方向 2 次照准读数，各方向值取 6 个测回的平均值，测角读数精确到 $0.1''$ 。

根据图 1 次级网点位图及对观测资料进行分析，本方案次级网由 24 个三角形组成，三角形最大内角闭合差为 $3.45''$ ，最小为 $0.29''$ 。由三角网内角闭合差计算得测角中误差为 $\pm 1.0''$ ，满足规范限差 $1.8''$ 的要求。具体详见表 1。

表 1 测角中误差计算表

三角形名称	闭合差 w(")	ww	三角形名称	闭合差 w(")	ww
LH02-LH01-JD06	0.31	0.10	LRA1-JM07-LH07	-1.12	1.25
JD05-JM08-JD06	1.02	1.04	JM03-JM12-JD02	1.95	3.80
JD05-LH01-JD06	-2.63	6.92	LH04-LH06-JD07	0.29	0.08
JD01-JD07-LH02	-1.26	1.59	LH04-LH05-LH06	0.52	0.27
LH05-LRA2-LH06	2.01	4.04	LH06-LH07-JD01	-2.42	5.86
LH07-JM07-JD05	-1.34	1.80	LH07-JD02-JD01	-2.66	7.08
JD02-JM03-JD01	3.45	11.90	LH06-LRA1-LH07	0.76	0.58
JM10-JM15-JD03	-1.88	3.53	JD02-JD03-LH07	-0.55	0.30
JM08-JM07-JD05	2.55	6.50	JD02-JM07-LH07	-1.96	3.84
LH01-JD01-LH02	1.06	1.12	LRA2-LRA1-LH06	0.8	0.64
JD07-LH06-JD01	-1.36	1.85	JD03-JM03-JD02	-0.32	0.10
LH02-LH01-JD06	0.31	0.10	JM03-JM11-JD03	3.2	10.24
测角中误差:	1.0				
方向中误差:	0.7				

边长观测时，采用电磁波测距方法，在测距的同时测定仪器高、温度、气压、相对湿度，仪器高精确到 1mm、温度精确到 0.2℃、相对湿度精确到 1%，气压精确到 50Pa。每测回的斜距进行气象、加常数、倾斜、归化等改正得到该边的最终水平距离观测值^[4]。

a. 全站仪所测斜距进行仪器加、乘常数和气象温度改正

$$S = S' + C + K \times S' + \Delta Dn \quad (1)$$

式中， S' 表示测距仪所测斜距， S 表示改正后的斜距， C 表示加常数， K 表示乘常数， ΔDn 表示气象温度改正。

b. 垂直角进行折光改正

$$\alpha' = \alpha + f \quad (2)$$

$$f = (1 - K_0) \times \rho \times \frac{S}{2R} \cos \alpha \quad (3)$$

式中 α' 表示改正后的垂直角， α 表示全站仪所测垂直角， f 表示地球曲率和大气折光对垂直角的修正量(")， K_0 表示大气折光系数， ρ 表示弧与度的换算常数，206265(")， R 表示地球平均曲率半径 (m)。

c. 平距经仪器常数气象和球气差改正

$$D_1 = S \times \cos \alpha' \quad (4)$$

式中， D_1 表示经仪器常数气象和球气差改正后的平距。

d. 平距归算至平均高程面

$$D_2 = D_1 \times \left[1 + \frac{Hp - Hm}{R} \right] \quad (5)$$

式中， D_2 表示归算至平均高程面的平距， Hp 表示当地坐标系投影面高程， Hm 表示测距两端点的平均高程 (m)。

本次级测量控制网边长经仪器加常数和乘常数改正、气象改正、球气差改正 (折光系数取值 0.14)、最终归算至测区平均高程面。经归算，边长平距对向较差最大值为

1.5mm，最小值为 0mm。测距单位权中误差为 0.54mm。

最后，应用专业软件进行数据处理，经平差，最大点位误差[JD08] = 0.0017 (m)，最小点位误差[JD05] = 0.0003 (m)，平均点位误差 = 0.0010 (m)，最大点间误差 = 0.0017(m)，最大边长比例误差 = 1/159374。

改造后的测量结果显示，控制网的平均点位精度提高到 ±1mm，完全满足新的测量需求。通过长期监测，控制网的稳定性也得到显著改善，为核电厂的安全运行和高效管理提供了更可靠的测量基准。[1]

6 结语

核电厂次级测量控制网平面精度提升结论：优化布点加密、严控设备与人员观测质量、采用高精度仪器、做好专业数据处理，可有效提高控制网精度。未来应持续技术创新，提升人员水平，加强跨领域合作，探索三维激光扫描、GNSS 等新技术应用，完善长期监测与质量控制体系，为核电建设提供更可靠保障。[6]

参考文献

- [1] 任宏伟.GPS在某核电厂首级平面控制网测量中的应用[J], 山西建筑, 2011, 203
- [2] 郝明.核电厂首级测量控制网的建立与精度分析[J], 智能城市, 2018, 71-72
- [3] 符彦, 王剑辉.IGS站在大型线状工程测量控制网基线解算中的选取研究, 甘肃科学学报[J], 2019, 31 (2) :46-50
- [4] 李广晔.核电站建设中的测量监理[J], 现代测绘, 2004, 27 (01) :34-35
- [5] 焦正华.核电厂各阶段测量控制网的建立[J], 机电信息, 2021, 659 (17) :55-60
- [6] 高建占, 曹亚梅.核电工程厂区测量控制网精度需求分析与设计, 电力经济研究[J], 2010, 164 (13) :258-260
- [7] 高建.核电站核岛安装工程加密测量控制网研究[J], 沿海企业与科技, 2010, 117 (02) :106-108