



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105606627 B

(45)授权公告日 2018.08.21

(21)申请号 201610148987.0

G01N 21/01(2006.01)

(22)申请日 2016.03.16

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105606627 A

CN 103018255 A, 2013.04.03,
CN 104849279 A, 2015.08.19,
CN 1455222 A, 2003.11.12,
CN 101629822 A, 2010.01.20,
WO 2015/007799 A2, 2015.01.22,
CN 104822026 A, 2015.08.05,

(43)申请公布日 2016.05.25

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌区珞珈山
武汉大学

审查员 胡慧

(72)发明人 徐亚明 王震 张涛 邢诚
黄晶晶

(74)专利代理机构 武汉科皓知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 42222
代理人 严彦

(51)Int.Cl.

G01N 21/952(2006.01)

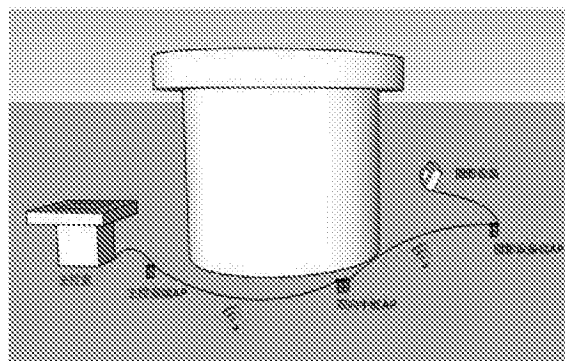
权利要求书5页 说明书11页 附图2页

(54)发明名称

核电站安全壳远程外观检查测量方法及系
统

(57)摘要

本发明提出一种核电站安全壳远程外观检查测量方法及系统,包括摄影方案预设计,生成最佳摄站点位和摄影方案;远程自动摄影数据采集,包括进行远程摄影设备的定向,远程摄影设备的标定,由远程摄影设备获取安全壳外观影像,通过无线网络将影像实时传输至主控端,主控端通过无线网络传输向摄影设备发送作业指令;影像数据处理,得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。本发明围绕核电站安全壳大范围设置多个远程摄影的站点,自动获取高分辨率的安全壳外观影像完成数据采集,360°覆盖安全壳外观全景,支持检查并测量外观缺陷。自动化远程摄影的外业方案在获取安全壳外观高精度全景影像的同时,节省大量人工操作,大幅度提高作业效率,安全可靠。



1. 一种核电站安全壳远程外观检查测量方法,其特征在于:包括以下步骤,

步骤1,摄影方案预设计,包括以下子步骤,

步骤1.1,输入安全壳可测网号范围 $[G_A, G_B]$ 和安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$;所述 D_A 是指远程摄影设备可架设的点位的最近处与安全壳表面垂直向距离, D_B 是指远程摄影设备可架设的点位的最远处与安全壳表面垂直向距离;

步骤1.2,生成最佳设站点位和摄影方案,包括根据安全壳可测网号范围 $[G_A, G_B]$ 、安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$ 和半径参数 R ,计算远程摄影的最佳设站点位,确定远程摄影的二维起止方向和二维旋转间隔;所述二维起止方向包括水平起止方向和竖直起止方向,所述二维旋转间隔包括水平向旋转间隔和竖向旋转间隔;

所述远程摄影的最佳设站点位计算方式如下,

计算最佳设站点的点位距离安全壳表面垂直距离 D ,考虑设站点处安全壳顶的仰角 α 和远程摄影设备的最大仰角 β 之间的关系,

若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A \leq \beta$,则取 $D = D_A$;

若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A > \beta$,最远距离 D_B 处 $\alpha_B \leq \beta$,则取 $D_A < D < D_B$;

若在最远距离 D_B 处 $\alpha_B > \beta$,则取 $D = D_B$;

设远程摄影设备的水平旋转角度为 φ ,与网号间隔 ΔG 之间的转换关系为:

$$\Delta G = \left[\pi - \frac{\varphi}{2} - \arcsin\left(\frac{(R+D) \times \sin\frac{\varphi}{2}}{R}\right) \right] \times G_{All} \times \frac{1}{\pi}$$

其中, R 为核安全壳半径, G_{All} 为核安全壳总网数;

设远程摄影设备的最大水平旋转角度为 φ_0 , φ_0 对应网号间隔为 ΔG_0 ,应设站数为 N ,第 i 个设站点对应的网号为 G_i , $i = 1, 2, \dots, N$,则:

$$N = \left[\frac{G_B - G_A}{\Delta G_0} \right] + 1$$

$$G_i = G_A + \frac{2 \times i - 1}{2} \times \Delta G_0$$

将设站点设置在距安全壳表面距离为 D ,网号为 G_i 处,以安全壳底面圆心为原点, X 轴与0网方向重合, Y 轴垂直于 X 轴, Z 轴竖直向上,建立安全壳直角坐标系,则设站点位 (X, Y) 为:

$$X = (D + R) \times \cos\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$Y = (D + R) \times \sin\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

步骤1.3,根据步骤1.2所得结果,放样最佳设站点位;

步骤2,远程自动摄影数据采集,包括进行远程摄影设备的定向,远程摄影设备的标定,由远程摄影设备获取安全壳外观影像,通过无线网络将影像实时传输至主控端,主控端通过无线网络传输向摄影设备发送作业指令;

所述远程摄影设备的定向实现方式如下,

利用激光测距仪测量摄影设备至觇标的距离,使觇标处于相机视野中,拍摄获取影像,对觇标进行特征提取,计算觇标中心像素坐标,结合摄影距离计算相机主光轴方向与觇标

中心方向的夹角 α ,控制云台旋转角度 α ,使相机主光轴照准觐标中心,完成定向,

$$V = \frac{U \times D}{f}$$

$$\alpha = 2 \times \tan^{-1} \frac{V}{2 \times D}$$

其中, V 为像片中心与觐标中心像素距离, U 为物方距离, D 为摄影距离, f 为像距;

步骤3,影像数据处理,包括对获得的影像数据进行处理,得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。

2.根据权利要求1所述核电站安全壳远程外观检查测量方法,其特征在于:所述远程摄影的二维起止方向确定方式如下

水平起止方向为 $(-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2})$,其中 φ 为水平旋转角度;

设在设站点处,安全壳顶的仰角为 α ,安全壳高度为 H ,核安全壳可检测部分起始高度为 h_A ,远程摄影设备架设高度为 h_B ,远程摄影设备的最大仰角为 β ,应设定的竖直起始仰角为 θ ,则:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{H - h_A - h_B}{D}\right)$$

$$\begin{cases} \theta = \beta & (\alpha > \beta) \\ \theta = \alpha & (\alpha < \beta) \end{cases}$$

竖直起止方向为 $(\theta, 0)$ 。

3.根据权利要求1所述核电站安全壳远程外观检查测量方法,其特征在于:所述远程摄影的二维旋转间隔确定方式如下,

设相机传感器尺寸为 $a \times b$,焦距为 f ,一幅影像的水平向拍摄范围为 w ,航带间重叠度至少为20%,航带间水平向旋转角度为 Ω ,则:

$$w = \frac{a}{d} \times m$$

$$\Omega = \arccos\left(\frac{2 \times m^2 - (0.8 \times w)^2}{2 \times m^2}\right)$$

式中, m 为设站点与安全壳表面的最远距离, d 为像距,

镜头的物距 m 、像距 d 与焦距 f 的关系为

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{m} + \frac{1}{d}$$

设一幅影像的竖向拍摄范围为 h ,相邻影像间的竖向重叠度为20%,拍摄瞬间仰角为 ε ,相邻影像间的竖向旋转角度为 γ ,则:

$$h = \frac{b \times m}{\cos^2 \varepsilon \left(d + \frac{b}{2} \tan \varepsilon \right)}$$

$$\gamma = \arccos \left(\frac{2 \times \frac{m^2}{\cos \varepsilon} - (0.8 \times h)^2}{2 \times \left(\frac{m}{\cos \varepsilon} \right)^2} \right)$$

得到水平向旋转间隔 Ω 和竖向旋转间隔 γ 。

4. 根据权利要求1或2或3所述核电站安全壳远程外观检查测量方法,其特征在於:所述远程摄影设备的标定实现方式如下,

设置多个控制点建设标定场,使用三脚架将全站仪、远程摄影设备和觇标成三角形架设;利用摄影设备的定向功能,使摄影设备上的相机照准觇标中心,得到云台零方向与BA方向的夹角 β ,其中点A为觇标中心点,点B为棱镜中心点,并量取云台旋转中心高度;将摄影设备替换为棱镜架设在脚架上,利用全站仪观测觇标和棱镜,反算BA方向与全站仪X轴方向的夹角 α ;使全站仪旋转至 $360^\circ - \alpha + \beta$ 并置为零方向,重新观测棱镜,量取棱镜高度;观测多个控制点得到其物方坐标,并通过平移将其改化至云台坐标系下;使云台旋转至零方向,控制相机拍摄包含多个控制点的影像,利用多个控制点的像方坐标和在云台坐标系下的物方坐标,通过摄影测量中后方交会基本原理,计算得到相机外方位元素,获取相机相对于云台的三维位置和姿态,标定完成。

5. 一种核电站安全壳远程外观检查测量系统,其特征在於:包括以下模块,

摄影方案预设计模块,包括以下子模块,

第一子模块,用于输入安全壳可测网号范围 $[G_A, G_B]$ 和安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$;所述 D_A 是指远程摄影设备可架设的点位的最近处与安全壳表面垂直向距离, D_B 是指远程摄影设备可架设的点位的最远处与安全壳表面垂直向距离;

第二子模块,用于生成最佳设站点位和摄影方案,

包括根据安全壳可测网号范围 $[G_A, G_B]$ 、安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$ 和半径参数 R ,计算远程摄影的最佳设站点位,确定远程摄影的二维起止方向和二维旋转间隔;所述二维起止方向包括水平起止方向和竖直起止方向,所述二维旋转间隔包括水平向旋转间隔和竖向旋转间隔;

所述远程摄影的最佳设站点位计算方式如下,

计算最佳设站点的点位距离安全壳表面垂直距离 D ,考虑设站点处安全壳顶的仰角 α 和远程摄影设备的最大仰角 β 之间的关系,

若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A \leq \beta$,则取 $D = D_A$;

若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A > \beta$,最远距离 D_B 处 $\alpha_B \leq \beta$,则取 $D_A < D < D_B$;

若在最远距离 D_B 处 $\alpha_B > \beta$,则取 $D = D_B$;

设远程摄影设备的水平旋转角度为 φ ,与网号间隔 ΔG 之间的转换关系为:

$$\Delta G = \left[\pi - \frac{\varphi}{2} - \arcsin \left(\frac{(R + D) \times \sin \frac{\varphi}{2}}{R} \right) \right] \times G_{All} \times \frac{1}{\pi}$$

其中, R 为核安全壳半径, G_{All} 为核安全壳总网数;

设远程摄影设备的最大水平旋转角度为 φ_0 , φ_0 对应网号间隔为 ΔG_0 ,应设站数为 N ,第 i 个设站点对应的网号为 G_i , $i = 1, 2, \dots, N$,则:

$$N = \left[\frac{G_B - G_A}{\Delta G_0} \right] + 1$$

$$G_i = G_A + \frac{2 \times i - 1}{2} \times \Delta G_0$$

将设站点设置在距安全壳表面距离为D, 冈号为 G_i 处, 以安全壳底面圆心为原点, X轴与0冈方向重合, Y轴垂直于X轴, Z轴竖直向上, 建立安全壳直角坐标系, 则设站点位(X, Y)为:

$$X = (D + R) \times \cos\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$Y = (D + R) \times \sin\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

第三子模块, 用于根据第二子模块所得结果, 放样最佳设站点位;

远程自动摄影数据采集模块, 用于进行远程摄影设备的定向, 远程摄影设备的标定, 由远程摄影设备获取安全壳外观影像, 通过无线网络将影像实时传输至主控端, 主控端通过无线网络传输向摄影设备发送作业指令;

所述远程摄影设备的定向实现方式如下,

利用激光测距仪测量摄影设备至觇标的距离, 使觇标处于相机视野中, 拍摄获取影像, 对觇标进行特征提取, 计算觇标中心像素坐标, 结合摄影距离计算相机主光轴方向与觇标中心方向的夹角 α , 控制云台旋转角度 α , 使相机主光轴照准觇标中心, 完成定向,

$$V = \frac{U \times D}{f}$$

$$\alpha = 2 \times \tan^{-1} \frac{V}{2 \times D}$$

其中, V为像片中心与觇标中心像素距离, U为物方距离, D为摄影距离, f为像距;

影像数据处理模块, 用于对获得的影像数据进行处理, 得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。

6. 根据权利要求5所述核电站安全壳远程外观检查测量系统, 其特征在于: 所述远程摄影的二维起止方向确定方式如下,

水平起止方向为 $(-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2})$, 其中 φ 为水平旋转角度;

设在设站点位处, 安全壳顶的仰角为 α , 安全壳高度为H, 核安全壳可检测部分起始高度为 h_A , 远程摄影设备架设高度为 h_B , 远程摄影设备的最大仰角为 β , 应设定的竖直起始仰角为 θ , 则:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{H - h_A - h_B}{D}\right)$$

$$\begin{cases} \theta = \beta & (\alpha > \beta) \\ \theta = \alpha & (\alpha < \beta) \end{cases}$$

竖直起止方向为 $(\theta, 0)$ 。

7. 根据权利要求5所述核电站安全壳远程外观检查测量系统, 其特征在于: 所述远程摄影的二维旋转间隔确定方式如下,

设相机传感器尺寸为 $a \times b$, 焦距为f, 一幅影像的水平向拍摄范围为w, 航带间重叠度至

少为20%，航带间水平向旋转角度为 Ω ，则：

$$w = \frac{a}{d} \times m$$

$$\Omega = \arccos \left(\frac{2 \times m^2 - (0.8 \times w)^2}{2 \times m^2} \right)$$

式中， m 为设站点与安全壳表面的最远距离， d 为像距，镜头的物距 m 、像距 d 与焦距 f 的关系为

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{m} + \frac{1}{d}$$

设一幅影像的竖向拍摄范围为 h ，相邻影像间的竖向重叠度为20%，拍摄瞬间仰角为 ε ，相邻影像间的竖向旋转角度为 γ ，则：

$$h = \frac{b \times m}{\cos^2 \varepsilon \left(d + \frac{b}{2} \tan \varepsilon \right)}$$

$$\gamma = \arccos \left(\frac{2 \times \frac{m^2}{\cos^2 \varepsilon} - (0.8 \times h)^2}{2 \times \left(\frac{m}{\cos \varepsilon} \right)^2} \right)$$

得到水平向旋转间隔 Ω 和竖向旋转间隔 γ 。

8. 根据权利要求5或6或7所述核电站安全壳远程外观检查测量系统，其特征在于：所述远程摄影设备的标定实现方式如下，

设置多个控制点建设标定场，使用三脚架将全站仪、远程摄影设备和觇标成三角形架设；利用摄影设备的定向功能，使摄影设备上的相机照准觇标中心，得到云台零方向与BA方向的夹角 β ，其中点A为觇标中心点，点B为棱镜中心点，并量取云台旋转中心高度；将摄影设备替换为棱镜架设在脚架上，利用全站仪观测觇标和棱镜，反算BA方向与全站仪X轴方向的夹角 α ；使全站仪旋转至 $360^\circ - \alpha + \beta$ 并置为零方向，重新观测棱镜，量取棱镜高度；观测多个控制点得到其物方坐标，并通过平移将其改化至云台坐标系下；使云台旋转至零方向，控制相机拍摄包含多个控制点的影像，利用多个控制点的像方坐标和在云台坐标系下的物方坐标，通过摄影测量中后方交会基本原理，计算得到相机外方位元素，获取相机相对于云台的三维位置和姿态，标定完成。

核电站安全壳远程外观检查测量方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于摄影测量技术领域,具体是一种通过远程摄影设备获取核电站安全壳外观影像,检查并测量外观表面缺陷的方法及系统。

背景技术

[0002] 尖端工业的发展水平象征着国民经济现代化的速度、规模和水平,工业生产的安全性是发展的前提。核电工业以其经济、清洁的巨大优势得到广泛认可,而安全性也成为核电工业发展的重要前提。作为保证核电安全生产的关键性建筑——核电站安全壳(如图1),其坚固性、耐久性和抗压、隔热等性能必须达到高标准,并必须在生产过程中对安全壳墙体缺陷进行监测和及时修补。

[0003] 安全壳的作用是防止裂变产物释放到周围,它是核电站隔绝性生产的最后一道屏障,是防止核泄漏的重中之重。安全壳作为关键性工业建筑不仅受自然因素的作用,还不可避免的处于高温高压等极端环境下,在结构上会受到极大的损害,最常见的就是安全壳外观表面裂缝、锈蚀、渗流等各种缺陷的出现。裂缝等缺陷的出现不仅影响美观,更为严重的是涉及结构安全和核电工业生产安全,一旦发生核泄漏,将对人民财产和生命安全造成不可挽回的损害。因此,安全壳外观表面缺陷的检测和修补便成了核电工业安全防护的重点。

[0004] 基于人工的外观检查需要消耗大量的人力、物力和时间成本,难以支持核电工业的高效生产。随着科学技术的不断发展,计算机技术、传感器技术、机械自动化技术、人工智能技术、以及红外遥感技术等越来越多的应用到安全壳外观检查领域中来。核电站工作环境和厂房结构复杂,安全壳形态为双层标准圆柱筒身,直径较大,多种厂房依附筒身而建,成为摄影环境的障碍。依据对核电厂安全壳摄影条件的详细调查和分析,确定设计一种核电站安全壳远程外观检查测量系统及方法。

发明内容

[0005] 针对现有技术缺陷,本发明提供一种核电站安全壳远程外观检查测量系统及方法。

[0006] 本发明提供一种核电站安全壳远程外观检查测量方法,包括以下步骤,

[0007] 步骤1,摄影方案预设计,包括以下子步骤,

[0008] 步骤1.1,输入安全壳可测冈号范围 (G_1, G_2) 和安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$;

[0009] 步骤1.2,生成最佳摄站点位和摄影方案,包括根据安全壳可测冈号范围 $[G_A, G_B]$ 、安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$ 和半径参数 R ,计算远程摄影的最佳设站点位,确定二维起止方向和二维旋转间隔;所述二维起止方向包括水平起止方向和竖直起止方向,所述二维旋转间隔包括水平向旋转间隔和竖向旋转间隔;

[0010] 所述远程摄影的最佳设站点位计算方式如下,

[0011] 计算最佳设站点的点位距离安全壳表面垂直距离 D ,考虑设站点处安全壳顶的仰

角 α 和远程摄影设备的最大仰角 β 之间的关系,

[0012] 若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A \leq \beta$,则取 $D = D_A$;

[0013] 若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A > \beta$,最远距离 D_B 处 $\alpha_B \leq \beta$,则取 $D_A < D < D_B$;

[0014] 若在最远距离 D_B 处 $\alpha_B > \beta$,则取 $D = D_B$;

[0015] 设远程摄影设备的水平旋转角度为 φ ,与网号间隔 ΔG 之间的转换关系为:

$$[0016] \quad \Delta G = \left[\pi - \frac{\varphi}{2} - \arcsin\left(\frac{(R + D) \times \sin \frac{\varphi}{2}}{R}\right) \right] \times G_{All} \times \frac{1}{\pi}$$

[0017] 其中, R 为核安全壳半径, G_{All} 为核安全壳总网数;

[0018] 设远程摄影设备的最大水平旋转角度为 φ_0 ,安全壳可测网号范围 $[G_A, G_B]$,对应网号间隔为 ΔG_0 ,应设站数为 N ,第 i 个设站点对应的网号为 $G_i, i = 1, 2, \dots, N$,则:

$$[0019] \quad N = \left[\frac{G_B - G_A}{\Delta G_0} \right] + 1$$

$$[0020] \quad G_i = G_A + \frac{2 \times i - 1}{2} \times \Delta G_0$$

[0021] 将摄影站点设置在距安全壳表面距离为 D ,网号为 G_i 处,以安全壳底面圆心为原点, X 轴与0网方向重合, Y 轴垂直于 X 轴, Z 轴竖直向上,建立安全壳直角坐标系,则设站点位 (X, Y) 为:

$$[0022] \quad X = (D + R) \times \cos\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$[0023] \quad Y = (D + R) \times \sin\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

[0024] 步骤1.3,根据步骤1.2所得结果,放样最佳摄站点位;

[0025] 步骤2,远程自动摄影数据采集,包括进行远程摄影设备的定向,远程摄影设备的标定,由远程摄影设备获取安全壳外观影像,通过无线网络将影像实时传输至主控端,主控端通过无线网络传输向摄影设备发送作业指令;

[0026] 所述远程摄影设备的定向实现方式如下,

[0027] 利用激光测距仪测量摄影设备至觇标的距离,使觇标处于相机视野中,拍摄获取影像,觇标进行特征提取,计算觇标中心像素坐标,结合摄影距离计算相机主光轴方向与觇标中心方向的夹角 α ,控制云台旋转角度 α ,使相机主光轴照准觇标中心,完成定向,

$$[0028] \quad V = \frac{U \times D}{f}$$

$$[0029] \quad \alpha = 2 \times \tan^{-1} \frac{V}{2 \times D}$$

[0030] 其中, V 为像片中心与觇标中心像素距离, U 为物方距离, D 为摄影距离, f 为像距;

[0031] 步骤3,影像数据处理,包括对获得的影像数据进行处理,得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。

[0032] 而且,所述远程摄影的二维起止方向确定方式如下,

[0033] 水平起止方向为 $(-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2})$,其中 φ 为水平旋转范围;

[0034] 设在架设点处,安全壳顶的仰角为 α ,安全壳高度为 H ,核安全壳可检测部分起始高度为 h_A ,远程摄影设备架设高度为 h_B ,远程摄影设备的最大仰角为 β ,应设定的竖直起始仰角为 θ ,则:

$$[0035] \quad \alpha = \arctan\left(\frac{H - h_A - h_B}{D}\right)$$

$$[0036] \quad \begin{cases} \theta = \beta & (\alpha > \beta) \\ \theta = \alpha & (\alpha < \beta) \end{cases}$$

[0037] 竖直起止方向为 $(\theta, 0)$ 。

[0038] 而且,所述远程摄影的二维旋转间隔确定方式如下,

[0039] 设相机传感器尺寸为 $a \times b$,焦距为 f ,一幅影像的水平向拍摄范围为 w ,航带间重叠度至少为20%,航带间水平向旋转角度为 Ω ,则:

$$[0040] \quad w = \frac{a}{d} \times m$$

$$[0041] \quad \Omega = \arccos\left(\frac{2 \times m^2 - (0.8 \times w)^2}{2 \times m^2}\right)$$

[0042] 式中, m 为设站点与安全壳表面的最远距离, d 为像距,

[0043] 镜头的物距 m 、像距 d 与焦距 f 的关系为

$$[0044] \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{m} + \frac{1}{d}$$

[0045] 设一幅影像的竖向拍摄范围为 h ,相邻影像间的竖向重叠度为20%,拍摄瞬间仰角为 ε ,相邻影像间的竖向旋转角度为 γ ,则:

$$[0046] \quad h = \frac{b \times m}{\cos^2 \varepsilon \left(d + \frac{b}{2} \tan \varepsilon\right)}$$

$$[0047] \quad \gamma = \arccos\left(\frac{2 \times \frac{m^2}{\cos^2 \varepsilon} - (0.8 \times h)^2}{2 \times \left(\frac{m}{\cos \varepsilon}\right)^2}\right)$$

[0048] 得到水平向旋转间隔 Ω 和竖向旋转间隔 γ 。

[0049] 而且,所述远程摄影设备的标定实现方式如下,

[0050] 设置多个控制点建设标定场,使用三脚架将全站仪、远程摄影设备和觇标成三角形架设;利用摄影设备的定向功能,使摄影设备上的相机照准觇标中心,得到云台零方向与BA方向的夹角 β ,其中点A为全站仪观测觇标中心点,点B为棱镜中心点,并量取云台旋转中心高度;将摄影设备替换为棱镜架设在脚架上,利用全站仪观测觇标A和棱镜B,反算BA方向与全站仪X轴方向的夹角 α ;使全站仪旋转至 $360^\circ - \alpha + \beta$ 并置为零方向,重新观测棱镜B,量取棱镜高度;观测多个控制点得到其物方坐标,并通过平移将其改化至云台坐标系下;使云台旋转至零方向,控制相机拍摄包含多个控制点的影像,利用多个控制点的像方坐标和在云台坐标系下的物方坐标,通过摄影测量中后方交会基本原理,计算得到相机外方位元素,获取相机相对于云台的三维位置和姿态,标定完成。

- [0051] 本发明提供一种核电站安全壳远程外观检查测量系统,包括以下模块,
- [0052] 摄影方案预设计模块,包括以下子模块,
- [0053] 第一子模块,用于输入安全壳可测冈号范围 (G_1, G_2) 和安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$;
- [0054] 第二子模块,用于生成最佳摄站点位和摄影方案,包括根据安全壳可测冈号范围 $[G_A, G_B]$ 、安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$ 和半径参数 R , 计算远程摄影的最佳设站点位, 确定二维起止方向和二维旋转间隔;所述二维起止方向包括水平起止方向和竖直起止方向,所述二维旋转间隔包括水平向旋转间隔和竖向旋转间隔;
- [0055] 所述远程摄影的最佳设站点位计算方式如下,
- [0056] 计算最佳设站点的点位距离安全壳表面垂直距离 D , 考虑设站点处安全壳顶的仰角 α 和远程摄影设备的最大仰角 β 之间的关系,
- [0057] 若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A \leq \beta$, 则取 $D = D_A$;
- [0058] 若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A > \beta$, 最远距离 D_B 处 $\alpha_B \leq \beta$, 则取 $D_A < D < D_B$;
- [0059] 若在最远距离 D_B 处 $\alpha_B > \beta$, 则取 $D = D_B$;
- [0060] 设远程摄影设备的水平旋转角度为 φ , 与冈号间隔 ΔG 之间的转换关系为:

$$[0061] \quad \Delta G = \left[\pi - \frac{\varphi}{2} - \arcsin\left(\frac{(R+D) \times \sin\frac{\varphi}{2}}{R}\right) \right] \times G_{All} \times \frac{1}{\pi}$$

- [0062] 其中, R 为核安全壳半径, G_{All} 为核安全壳总冈数;
- [0063] 设远程摄影设备的最大水平旋转角度为 φ_0 , 安全壳可测冈号范围 $[G_A, G_B]$, 对应冈号间隔为 ΔG_0 , 应设站数为 N , 第 i 个设站点对应的冈号为 $G_i, i = 1, 2, \dots, N$, 则:

$$[0064] \quad N = \left[\frac{G_B - G_A}{\Delta G_0} \right] + 1$$

$$[0065] \quad G_i = G_A + \frac{2 \times i - 1}{2} \times \Delta G_0$$

- [0066] 将摄影站点设置在距安全壳表面距离为 D , 冈号为 G_i 处, 以安全壳底面圆心为原点, X 轴与 0 冈方向重合, Y 轴垂直于 X 轴, Z 轴竖直向上, 建立安全壳直角坐标系, 则设站点位 (X, Y) 为:

$$[0067] \quad X = (D + R) \times \cos\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$[0068] \quad Y = (D + R) \times \sin\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

- [0069] 第三子模块, 用于根据第二子模块所得结果, 放样最佳摄站点位;
- [0070] 远程自动摄影数据采集模块, 用于进行远程摄影设备的定向, 远程摄影设备的标定, 由远程摄影设备获取安全壳外观影像, 通过无线网络将影像实时传输至主控端, 主控端通过无线网络传输向摄影设备发送作业指令;
- [0071] 所述远程摄影设备的定向实现方式如下,
- [0072] 利用激光测距仪测量摄影设备至觇标的距离, 使觇标处于相机视野中, 拍摄获取影像, 觇标进行特征提取, 计算觇标中心像素坐标, 结合摄影距离计算相机主光轴方向与觇

标中心方向的夹角 α ,控制云台旋转角度 α ,使相机主光轴照准觐标中心,完成定向,

$$[0073] \quad V = \frac{U \times D}{f}$$

$$[0074] \quad \alpha = 2 \times \tan^{-1} \frac{V}{2 \times D}$$

[0075] 其中, V 为像片中心与觐标中心像素距离, U 为物方距离, D 为摄影距离, f 为像距;

[0076] 影像数据处理模块,用于对获得的影像数据进行处理,得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。

[0077] 而且,所述远程摄影的二维起止方向确定方式如下,

[0078] 水平起止方向为 $(-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2})$,其中 φ 为水平旋转范围;

[0079] 设在架设点处,安全壳顶的仰角为 α ,安全壳高度为 H ,核安全壳可检测部分起始高度为 h_A ,远程摄影设备架设高度为 h_B ,远程摄影设备的最大仰角为 β ,应设定的竖直起始仰角为 θ ,则:

$$[0080] \quad \alpha = \arctan\left(\frac{H - h_A - h_B}{D}\right)$$

$$[0081] \quad \begin{cases} \theta = \beta & (\alpha > \beta) \\ \theta = \alpha & (\alpha < \beta) \end{cases}$$

[0082] 竖直起止方向为 $(\theta, 0)$ 。

[0083] 而且,所述远程摄影的二维旋转间隔确定方式如下,

[0084] 设相机传感器尺寸为 $a \times b$,焦距为 f ,一幅影像的水平向拍摄范围为 w ,航带间重叠度至少为20%,航带间水平向旋转角度为 Ω ,则:

$$[0085] \quad w = \frac{a}{d} \times m$$

$$[0086] \quad \Omega = \arccos\left(\frac{2 \times m^2 - (0.8 \times w)^2}{2 \times m^2}\right)$$

[0087] 式中, m 为设站点与安全壳表面的最远距离, d 为像距,

[0088] 镜头的物距 m 、像距 d 与焦距 f 的关系为

$$[0089] \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{m} + \frac{1}{d}$$

[0090] 设一幅影像的竖向拍摄范围为 h ,相邻影像间的竖向重叠度为20%,拍摄瞬间仰角为 ε ,相邻影像间的竖向旋转角度为 γ ,则:

$$[0091] \quad h = \frac{b \times m}{\cos^2 \varepsilon \left(d + \frac{b}{2} \tan \varepsilon\right)}$$

$$[0092] \quad \gamma = \arccos\left(\frac{2 \times \frac{m^2}{\cos^2 \varepsilon} - (0.8 \times h)^2}{2 \times \left(\frac{m}{\cos \varepsilon}\right)^2}\right)$$

[0093] 得到水平向旋转间隔 Ω 和竖向旋转间隔 γ 。

[0094] 而且,所述远程摄影设备的标定实现方式如下,

[0095] 设置多个控制点建设标定场,使用三脚架将全站仪、远程摄影设备和觇标成三角形架设;利用摄影设备的定向功能,使摄影设备上的相机照准觇标中心,得到云台零方向与BA方向的夹角 β ,其中点A为全站仪观测觇标中心点,点B为棱镜中心点,并量取云台旋转中心高度;将摄影设备替换为棱镜架设在脚架上,利用全站仪观测觇标A和棱镜B,反算BA方向与全站仪X轴方向的夹角 α ;使全站仪旋转至 $360^\circ - \alpha + \beta$ 并置为零方向,重新观测棱镜B,量取棱镜高度;观测多个控制点得到其物方坐标,并通过平移将其改化至云台坐标系下;使云台旋转至零方向,控制相机拍摄包含多个控制点的影像,利用多个控制点的像方坐标和在云台坐标系下的物方坐标,通过摄影测量中后方交会基本原理,计算得到相机外方位元素,获取相机相对于云台的三维位置和姿态,标定完成。

[0096] 因此,本发明具有如下优点提出了一种摄影方案预设计的方法,自动生成远程摄影的最佳设站点和每一站的摄影方案,减少人工规划;设计了一种远程摄影设备,远程自动获取安全壳外观高清影像并进行实时无线数据传输,抗风抗高温防雨,稳定安全;提出了一种远程摄影设备的定向方法,可使摄影设备上相机主光轴自动照准觇标中心,无需人工视觉照准;提出了一种远程摄影设备的标定方法,可获得相机相对于云台的三维位置和姿态参数,精度高且易于实现。后续可以方便地进行安全壳影像纠正与拼接,可将倾斜影像纠正为正射影像并拼接为安全壳全景展开图,易于安全壳表面的直观查看,拼接精度高。

附图说明

[0097] 图1是本发明实施例的安全壳外观图。

[0098] 图2是本发明实施例的人工踏勘数据示意图。

[0099] 图3是本发明实施例的无线网络传输架构图。

[0100] 图4是本发明实施例的最佳设站点位计算示意图。

具体实施方式

[0101] 下面通过实施例,对本发明的技术方案作进一步具体的说明。

[0102] 步骤1,摄影方案预设计:通过预先人工所得的踏勘数据和安全壳几何数据,结合远程摄影设备的摄影范围限制,保证影像精度的前提下,自动生成远程摄影的最佳设站点,并利用GPS RTK技术放样每个设站点位;自动生成每一站的摄影方案,包括摄影起止方向、水平和竖直旋转角度间隔等;

[0103] 步骤1.1,输入安全壳可测网号范围和安全壳表面垂直向距离范围:具体实施时可以预先进行人工踏勘获取安全壳可测网号范围和安全壳表面垂直向距离范围,作为本发明流程运行时的输入数据。如图2所示:(1)可测网号范围是指安全壳未被遮挡或覆盖、视野未被遮挡的网号范围(G_1, G_2) (安全壳圆周 360° 分为400网,每一网为 0.9°),设实施例的可测网号范围记为 $[G_A, G_B]$ 。(2)安全壳表面垂直向距离范围是指远程摄影设备可架设的点位的最近 D_1 和最远处 D_2 ,设实施例的安全壳表面垂直向距离范围记为 $[D_A, D_B]$,且在此距离内视野未被遮挡,最大限度的包含安全壳外观。最近距离 D_1 的设定以可架站且视野尽可能包含安全壳外观为依据。最远距离 D_2 的设定以可架站的最远距离为依据。

[0104] 步骤1.2,生成最佳摄站点位和摄影方案。根据步骤1.1所得可测冈号范围 $[G_A, G_B]$ 、安全壳表面垂直向距离范围、对应的核安全壳可检测部分起始高度 h_A 、远程摄影设备架设高度 h_B 和安全壳高度 H 、半径参数 R ,计算远程摄影的最佳设站点位、二维起止方向(包括水平起止方向和竖直起止方向)和二维旋转间隔(包括水平向旋转间隔和竖向旋转间隔);

[0105] (1)最佳设站点位计算

[0106] 计算最佳设站点的点位距离安全壳表面垂直距离 D 时,需考虑设站点处安全壳顶的仰角 α 和远程摄影设备的最大仰角 β 之间的关系。

[0107] 若在最近距离 D_A 处相应安全壳顶的仰角 $\alpha_A \leq \beta$,则取 D_A 处某点作为架设点,即 $D = D_A$;

[0108] 若在最近距离 D_A 处相应安全壳顶的仰角 $\alpha_A > \beta$,最远距离 D_B 处 $\alpha_B \leq \beta$,则取 D_A 、 D_B 之间某点作为架设点,即 $D_A < D < D_B$;

[0109] 若在最远距离 D_B 处相应安全壳顶的仰角 $\alpha_B > \beta$,则取 D_B 处某点作为架设点,即 $D = D_B$ 。

[0110] 假设远程摄影设备的水平旋转角度为 φ ,与冈号间隔 ΔG 之间的转换关系为:

$$[0111] \quad m^2 = (R + D)^2 + R^2 - 2 \times (R + D) \times R \times \cos\left(\frac{\Delta G}{G_{All}} \times 2\pi \times \frac{1}{2}\right)$$

$$[0112] \quad n^2 = R^2 + R^2 - 2 \times R^2 \times \cos\left(\frac{\Delta G}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$[0113] \quad \varphi = \arccos\left(\frac{2 \times m^2 - n^2}{2 \times m^2}\right)$$

$$[0114] \quad \Delta G = \left[\pi - \frac{\varphi}{2} - \arcsin\left(\frac{(R + D) \times \sin\frac{\varphi}{2}}{R}\right) \right] \times G_{All} \times \frac{1}{\pi}$$

[0115] 其中, R 为核安全壳半径, G_{All} 为核安全壳总冈数=400, m 为AP的长度, n 为AB的长度。如图4所示,可测范围对应A点和B点,核电站安全壳中心点为O,远程摄影设备的位置对应P点。

[0116] 假设远程摄影设备的最大水平旋转角度为 φ_0 ,可测冈号范围 $[G_A, G_B]$,对应冈号间隔为 ΔG_0 ,应设站数为 N ,第 i 个设站点对应的冈号为 G_i , $i = 1, 2, \dots, N$,则:

$$[0117] \quad N = \left[\frac{G_B - G_A}{\Delta G_0} \right] + 1$$

$$[0118] \quad G_i = G_A + \frac{2 \times i - 1}{2} \times \Delta G_0$$

[0119] 继而得出摄影站点应设置在距安全壳表面距离为 D ,冈号为 G_i 处。以安全壳底面圆心为原点, X 轴与0冈方向重合, Y 轴垂直于 X 轴, Z 轴竖直向上,建立安全壳直角坐标系,则设站点位 (X, Y) 为:

$$[0120] \quad X = (D + R) \times \cos\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$[0121] \quad Y = (D + R) \times \sin\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

[0122] (2) 二维起止方向计算

[0123] 水平起止方向为 $(-\frac{\varphi}{2}, \frac{\varphi}{2})$, 其中 φ 为水平旋转范围;

[0124] 假设在架设点处, 安全壳顶的仰角为 α , 安全壳高度为 H , 核安全壳可检测部分起始高度为 h_A , 远程摄影设备架设高度为 h_B , 远程摄影设备的最大仰角为 β , 应设定的竖直起始仰角为 θ , 则:

$$[0125] \quad \alpha = \arctan\left(\frac{H - h_A - h_B}{D}\right)$$

$$[0126] \quad \begin{cases} \theta = \beta & (\alpha > \beta) \\ \theta = \alpha & (\alpha < \beta) \end{cases}$$

[0127] 竖直起止方向为 $(\theta, 0)$ 。

[0128] (3) 二维旋转间隔计算

[0129] 设相机传感器尺寸为 $a \times b$ ($36\text{mm} \times 24\text{mm}$), 焦距为 f , 一幅影像的水平向拍摄范围为 w , 航带间重叠度至少为20%, 航带间水平向旋转角度为 Ω , 则:

$$[0130] \quad w = \frac{a}{d} \times m$$

$$[0131] \quad \Omega = \arccos\left(\frac{2 \times m^2 - (0.8 \times w)^2}{2 \times m^2}\right)$$

[0132] 式中, m 为设站点与安全壳表面的最远距离即图4中的AP、BP, d 为像距即摄影中心到像平面的距离。

[0133] 镜头的物距 m 、像距 d 与焦距 f 的关系为

$$[0134] \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{m} + \frac{1}{d}$$

[0135] 同一航带的影像从上到下拍摄的范围越来越小, 因此相邻影像间的竖向旋转角度不同, 与摄影距离和拍摄范围有关。假设一幅影像的竖向拍摄范围为 h , 相邻影像间的竖向重叠度为20%, 拍摄瞬间仰角为 ε , 相邻影像间的竖向旋转角度为 γ , 则:

$$[0136] \quad h = \frac{b \times m}{\cos^2 \varepsilon \left(d + \frac{b}{2} \tan \varepsilon\right)}$$

$$[0137] \quad \gamma = \arccos\left(\frac{2 \times \frac{m^2}{\cos^2 \varepsilon} - (0.8 \times h)^2}{2 \times \left(\frac{m}{\cos \varepsilon}\right)^2}\right)$$

[0138] 步骤1.3, GPS放样设站点。采用GPS-RTK技术放样最佳摄站点位。由于GPS-RTK技术放样是现有技术, 本发明不予赘述。

[0139] 步骤2, 远程自动摄影数据采集: 完成远程摄影设备的定向和标定, 获取高精度的安全壳外观影像, 并为主控端提供实时监视画面。

[0140] 远程摄影设备获取高精度的安全壳外观影像, 并为主控端提供监视画面。远程自动摄影获得影像数据的同时, 将数据通过无线传输系统发送到主控端, 使主控端监控拍摄过程, 检查影像拍摄质量, 对意外情况及时作出反应。具体实施时, 远程摄影设备可设计为

在高精度二维旋转云台顶部加装数码单反相机和超长焦镜头,在室内标定场中完成摄影设备的标定。

[0141] 远程摄影设备:可由高精度旋转云台、单反数码相机和超长焦镜头、激光测距仪、小型摄像机、三脚架和控制箱组成,自动获取安全壳外观高清影像。

[0142] 实施例中,采用高精度旋转云台,可作水平和垂直方向上的旋转。云台顶部加装单反数码相机和超长焦镜头,相机两侧分别加装激光测距仪和小型摄像机。相机有效像素3630万,超长焦镜头150-600mm变焦,具有自动对焦功能,用于获取安全壳外观高清影像。云台安装于三脚架上。为摄影设备配备控制箱,控制箱主要包括计算机、移动电源、散热风扇、防震海绵垫、遮光防晒罩和轻质铝合金箱,作用为:为摄影设备供电;依照摄影方案控制测量机器人水平和垂直向旋转、启停;控制相机拍摄;存储影像和工作日志,向主控端传输工作状态标志;等待接收主控端的指令。

[0143] 无线网络传输系统:如图3所示,摄影设备获取安全壳外观影像,通过无线网络传输系统将影像实时传输至主控端,主控端通过无线网络传输系统向摄影设备发送作业指令。

[0144] 网络传输设备采用EnGenius(神準)-ENH500-AP。ENH500室外无线AP内置13dBi高增益双极化天线,高输出功率和接收灵敏度高,可以最大限度延长传输距离,提供一个稳定的无线连接。AP间网络传输需要同时和对向,因此在环绕安全壳的传输路线中设置一个或多个中继节点,且中继节点由两个AP背向绑接,实现双向的网络传输。如图3所述,摄影设备端AP和主控室端AP之间,设置双向中继AP。

[0145] 主控端:主控端架设在主控室内,可通过在计算机设置采集监控软件实现。采集监控软件可以通过网络传输系统实时获得远程设备采集的影像数据,并实时展示每幅影像对应的在安全壳表面展开图上的位置,使主控人员能实时掌握远程摄影的作业情况,对意外情况及时作出启停反应,减小返工率。同时主控人员可实时检查影像质量,避免影像质量过低成为后期缺陷提取障碍的问题。具体实施时,本领域技术人员可自行选用监控软件。

[0146] 步骤2的具体实现包括以下子步骤:

[0147] 步骤2.1,远程摄影设备的定向。为使摄影设备上相机主光轴照准觇标中心,需为远程摄影设备设计一种定向方法。利用激光测距仪测量摄影设备至觇标的距离(觇标处于相机视野中即可)。使觇标处于相机视野中,拍摄获取影像,利用图像处理方法对觇标进行特征提取,计算觇标中心像素坐标,结合摄影距离计算相机主光轴方向与觇标中心方向的夹角 α ,控制云台旋转角度 α ,使相机主光轴照准觇标中心,完成定向。

$$[0148] \quad V = \frac{U \times D}{f}$$

$$[0149] \quad \alpha = 2 \times \tan^{-1} \frac{V}{2 \times D}$$

[0150] 其中,V为像片中心与觇标中心像素距离,U为物方距离。D为摄影距离,f为像距。

[0151] 步骤2.2,远程摄影设备的标定。为得到相机相对于云台的三维位置和姿态,用于倾斜影像纠正和拼接,需为远程摄影设备设计一种标定方法。实验室内设置多个控制点建设标定场。使用三脚架将全站仪、远程摄影设备和觇标成三角形架设。利用摄影设备的定向功能,使摄影设备上的相机照准觇标中心,得到云台零方向与BA方向(点A为全站仪观测觇

标中心点,点B为棱镜中心点)的夹角 β ,并量取云台旋转中心高度。将摄影设备替换为棱镜架设在脚架上,利用全站仪观测觇标A和棱镜B,反算BA方向与全站仪X轴方向的夹角 α 。使全站仪旋转至 $360^\circ - \alpha + \beta$ 并置为零方向,重新观测棱镜B,量取棱镜高度。观测多个控制点得到其物方坐标,并通过平移将其改化至云台坐标系下。使云台旋转至零方向,控制相机拍摄包含多个控制点的影像,利用多个控制点的像方坐标和在云台坐标系下的物方坐标,通过摄影测量中后方交会基本原理,计算得到相机外方位元素,即相机相对于云台的三维位置和姿态,标定完成。

[0152] 步骤2.3,远程自动摄影数据采集。控制箱根据摄影方案,自动控制云台二维方向旋转,控制相机拍摄获取安全壳外观影像,同时将数据通过无线传输系统发送到主控端,使主控端实时监控拍摄过程,检查影像拍摄质量,对意外情况及时作出反应。

[0153] 步骤3,影像数据处理:对获得的影像数据进行处理,得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。利用摄影测量基本原理恢复安全壳影像的世界三维位置,对倾斜的安全壳影像进行微分纠正,得到正射影像并拼接为安全壳外观全景展开图,例如通过图像微分纠正基本原理,根据系统标定参数、测站坐标、目标物的数学模型和每个摄影点的角度距离参数,将影像上的二维像素坐标转换为三维世界坐标,即将影像纠正为正射影像,拼接生成安全壳全景影像,为提取出的缺陷提供位置信息。利用数字图像处理方法对外观缺陷进行特征提取和模式识别,测量缺陷形态特征,计算长度、宽度、面积等参数。具体计算实现可采用现有技术,本发明不予赘述。

[0154] 通过安全壳影像纠正与拼接方法,可将倾斜影像纠正为正射影像并拼接为安全壳全景展开图,易于安全壳表面的直观查看,拼接精度高。具体实施时,可以在配套软件中采用影像纠正算法对采集到的倾斜影像进行基于三维位置的纠正,得到安全壳外观的正射影像,拼接后得到安全壳外观表面全景展开图。配套软件中采用缺陷检测算法自动检查安全壳外观的各种类型的缺陷并进行形态特征测量。

[0155] 具体实施时,本发明技术人员可采用计算机软件技术实现方法流程的自动运行,也可采用模块化技术提供相应系统。实施例提供一种核电站安全壳远程外观检查测量系统,包括以下模块,

[0156] 摄影方案预设计模块,包括以下子模块,

[0157] 第一子模块,用于输入安全壳可测网号范围(G_1, G_2)和安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$;

[0158] 第二子模块,用于生成最佳摄站点位和摄影方案,包括根据安全壳可测网号范围 $[G_A, G_B]$ 、安全壳表面垂直向距离范围 $[D_A, D_B]$ 和半径参数 R ,计算远程摄影的最佳设站点位,确定二维起止方向和二维旋转间隔;所述二维起止方向包括水平起止方向和竖直起止方向,所述二维旋转间隔包括水平向旋转间隔和竖向旋转间隔;

[0159] 所述远程摄影的最佳设站点位计算方式如下,

[0160] 计算最佳设站点的点位距离安全壳表面垂直距离 D ,考虑设站点处安全壳顶的仰角 α 和远程摄影设备的最大仰角 β 之间的关系,

[0161] 若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A \leq \beta$,则取 $D = D_A$;

[0162] 若在最近距离 D_A 处 $\alpha_A > \beta$,最远距离 D_B 处 $\alpha_B \leq \beta$,则取 $D_A < D < D_B$;

[0163] 若在最远距离 D_B 处 $\alpha_B > \beta$,则取 $D = D_B$;

[0164] 设远程摄影设备的水平旋转角度为 φ ,与冈号间隔 ΔG 之间的转换关系为:

$$[0165] \quad \Delta G = \left[\pi - \frac{\varphi}{2} - \arcsin\left(\frac{(R+D) \times \sin \frac{\varphi}{2}}{R}\right) \right] \times G_{All} \times \frac{1}{\pi}$$

[0166] 其中, R 为核安全壳半径, G_{All} 为核安全壳总冈数;

[0167] 设远程摄影设备的最大水平旋转角度为 φ_0 ,安全壳可测冈号范围 $[G_A, G_B]$,对应冈号间隔为 ΔG_0 ,应设站数为 N ,第 i 个设站点对应的冈号为 $G_i, i=1, 2, \dots, N$,则:

$$[0168] \quad N = \left\lceil \frac{G_B - G_A}{\Delta G_0} \right\rceil + 1$$

$$[0169] \quad G_i = G_A + \frac{2 \times i - 1}{2} \times \Delta G_0$$

[0170] 将摄影站点设置在距安全壳表面距离为 D ,冈号为 G_i 处,以安全壳底面圆心为原点, X 轴与0冈方向重合, Y 轴垂直于 X 轴, Z 轴竖直向上,建立安全壳直角坐标系,则设站点位 (X, Y) 为:

$$[0171] \quad X = (D + R) \times \cos\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

$$[0172] \quad Y = (D + R) \times \sin\left(\frac{G_i}{G_{All}} \times 2\pi\right)$$

[0173] 第三子模块,用于根据第二子模块所得结果,放样最佳摄站点位;

[0174] 远程自动摄影数据采集模块,用于进行远程摄影设备的定向,远程摄影设备的标定,由远程摄影设备获取安全壳外观影像,通过无线网络将影像实时传输至主控端,主控端通过无线网络传输向摄影设备发送作业指令;

[0175] 所述远程摄影设备的定向实现方式如下,

[0176] 利用激光测距仪测量摄影设备至觇标的距离,使觇标处于相机视野中,拍摄获取影像,觇标进行特征提取,计算觇标中心像素坐标,结合摄影距离计算相机主光轴方向与觇标中心方向的夹角 α ,控制云台旋转角度 α ,使相机主光轴照准觇标中心,完成定向,

$$[0177] \quad V = \frac{U \times D}{f}$$

$$[0178] \quad \alpha = 2 \times \tan^{-1} \frac{V}{2 \times D}$$

[0179] 其中, V 为像片中心与觇标中心像素距离, U 为物方距离, D 为摄影距离, f 为像距;

[0180] 影像数据处理模块,用于对获得的影像数据进行处理,得到安全壳外观全景展开图和缺陷信息。

[0181] 可见,本发明通过预设计,围绕核电站安全壳设置多个远程摄影的站点,设计完备的远程摄影硬件设备自动获取高分辨率的安全壳外观影像完成数据采集,360°覆盖安全壳外观全景。支持利用配套的影像纠正和缺陷检测软件进行数据处理,检查并测量外观缺陷。自动化远程摄影的外业方案在获取安全壳外观高精度全景影像的同时,节省大量人工操作,大幅度提高作业效率,安全可靠。

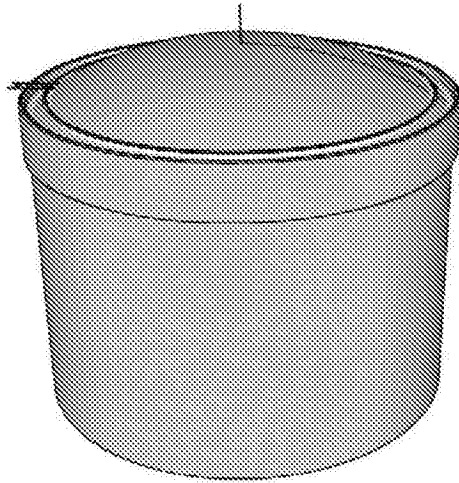


图1

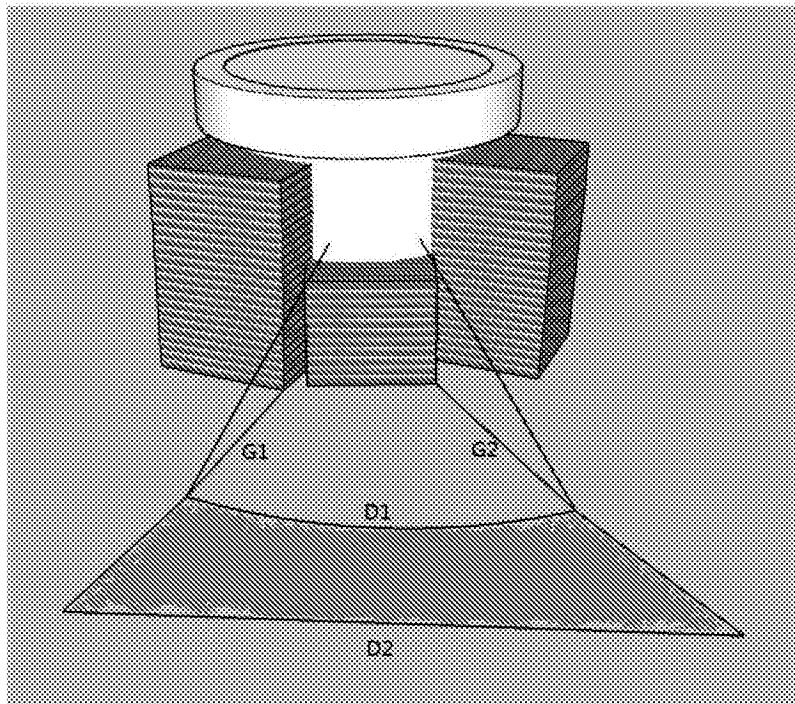


图2

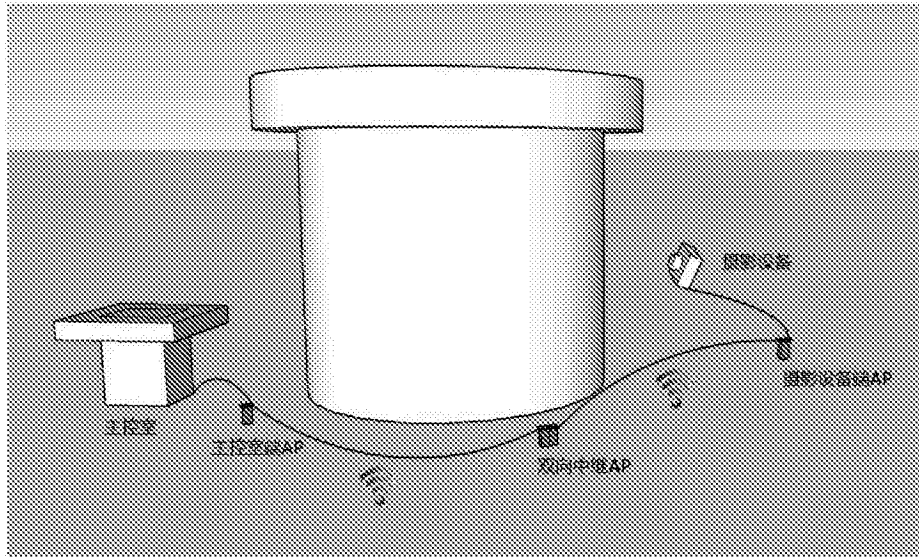


图3

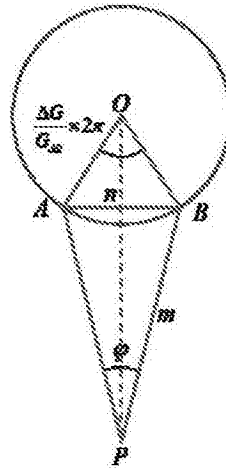


图4a

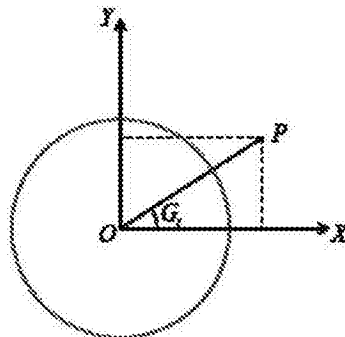


图4b