

doi: 10.11720/wtyht.2018.1534

杜辉,耿涛,刘生荣,等.基于 ArcGIS 的地物化成果各坐标系统向 CGCS2000 坐标转换研究[J].物探与化探,2018,42(5):1076-1080.http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1534

Du H, Geng T, Liu S R, et al. A study of transformation of the coordinate system from geophysical and geochemical results coordinate to CGCS2000 coordinate in ArcGIS[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2018, 42(5): 1076-1080. http://doi.org/10.11720/wtyht.2018.1534

基于 ArcGIS 的地物化成果各坐标系统 向 CGCS2000 坐标转换研究

杜辉^{1,2,3}, 耿涛^{2,3}, 刘生荣^{2,3}, 白运^{2,3}

(1. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 国土资源部 岩浆作用成矿与找矿重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要: 由于历史原因, 现阶段已有的地质、物化探成果的坐标系统基本为 WGS84、BJ54 或 Xi'an80 系统, 而根据国家测绘局关于全面使用 CGCS2000 坐标的要求, 今后取得的各类成果的坐标系统应为 CGCS2000 坐标, 这为已有成果的利用和综合研究的工作带来不便。ArcGIS 作为一款专业的地理信息系统软件, 在各行各业有着广泛的应用。笔者在简要介绍了 ArcGIS 内置坐标系统的同时, 研究并推导了 ArcGIS 软件中莫洛金斯基坐标转换方法的计算公式, 提出了不同椭球之间转换参数的求取及转换精度评定的方法, 并通过实例进行验证。在此基础上, 分析了各坐标系统在 ArcGIS 软件中向 CGCS2000 转换的具体思路及注意事项。

关键词: ArcGIS; CGCS2000; 坐标转换

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2018)05-1076-05

0 引言

国家测绘地理信息局 2008 年 6 月 18 日发布公告: 我国自 2008 年 7 月 1 日起, 启用 2000 国家大地坐标系(CGCS2000)。2000 国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8~10 年。自然资源部、国家测绘地理信息局 2017 年 3 月 10 日发布《关于加快使用 2000 国家大地坐标系的通知(国土资发[2017]30 号)》, 明确规定 2018 年 6 月底前完成全系统各类国土资源空间数据向 2000 国家大地坐标系转换, 2018 年 7 月 1 日起全面使用 2000 国家大地坐标系, 届时, 国家测绘地理信息局将停止提供非 2000 国家大地坐标系下的测绘成果。

从公告和文件可以看出, CGCS2000 系统必将代替现阶段地质系统大量使用的 WGS84、1954 北京(BJ54)、1980 西安坐标系(Xi'an80)。WGS84、BJ54

和 Xi'an80 坐标系与 CGCS2000 坐标系在地球椭球参数、坐标框架及参考历元等方面均存在差异^[1-3]。现有地质、物化探成果需要进行坐标转换后, 才不影响继续使用^[4-6]。各坐标系向 CGCS2000 坐标系转换, 相关的研究较多^[7-11], 但大多是基本理论的公式推导, 由于坐标转换模型较多, 且各数据管理软件采用的坐标转换模型均不一致, 这为实际使用带来了诸多不便。

ArcGIS 系列软件是美国环境研究所(environment system research institute, ESRI)开发的 GIS 软件, 主要应用软件是 Desktop, 包含 ArcMap、ArcCatalog、ArcToolbox 等用户界面组件, 能够进行数据管理和分析, 功能强大。ArcGIS 在测绘、地质、物化探成果管理中均有着广泛的应用^[12-14]。分析和研究 ArcGIS 软件的坐标转换方法, 将更加便捷有效地将已有的各类成果数据的坐标系转换为 CGCS2000 坐标系。

收稿日期: 2017-12-01; **修回日期:** 2018-01-19

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目(201511020); 中国地质调查局“东昆仓铜镍多金属资源基地调查”项目(DD20160013); 中国地质调查局“青海祁漫塔格成矿带金属矿地质矿产调查”项目(12120113031600)

作者简介: 杜辉(1987-), 男, 工程师, 学士, 从事物探测量工作。Email: 296772098@qq.com

1 ArcGIS 坐标系及坐标转换

1.1 ArcGIS 中的坐标系

建国以来,我国先后使用的坐标系有 BJ54 坐标系、Xi'an80 坐标系以及随着 GPS 系统的兴起,广泛使用的 WGS84 坐标系和我国最新建立的具有现

代意义的 CGCS2000 坐标系。除了 CGCS2000 坐标系刚刚开始推广,其余坐标系伴随着我国经济建设的发展,在各行各业得到了广泛的应用。

但上述坐标系在坐标系类型、定向、椭球参数、参考历元上均有显著不同(见表 1),这就导致了各参考椭球之间需要进行严格的转换计算,方能保证点的坐标在不同的坐标系统下正确地显示。

表 1 坐标系参数对照

坐标系	BJ54	Xian'80	WGS84	CGCS2000
坐标系类型	参心	参心	地心	地心
定向	普尔科沃	1968 极原点	BIH1984.0 定义的协议极原点	2000.0 的地球参考极方向
椭球基准	Krasovsky_1940	IAG75	WGS84	CGCS2000
长半轴/m	6378245	6378140	6378137	6378137
扁率	1/298.3	1/298.257	1/298.257223563	1/298.257222101
参考历元	——	——	G1674(2012)	2000.0
参考框架	——	——	ITRF08	ITRF97

在 ArcGIS 中,定义坐标系时,将平面和高程的坐标系统分别定义,即 XY 坐标系和 Z 坐标系,这表示在坐标系变换前后,Z 值保持不变。根据坐标类型,XY 坐标又分为地理坐标系和投影坐标系两类,地理坐标系是以经纬度表示点位置的坐标形式,投影坐标系则是以采用投影计算后的直角坐标值表示点位置的坐标形式,我国大中比例尺地图均采用高斯—克吕格投影,大于 1:5 万比例尺地形图采用 3 度分带投影,1:5 万及以下比例尺地形图采用 6 度分带投影。

1.2 ArcGIS 中的坐标转换

ArcGIS 中可以实现同一椭球内地理坐标系与高斯投影坐标系之间以及不同椭球之间任意坐标系的相互转换,只需准确选择待转数据转换前后的坐标系即可。同一椭球坐标系之间的坐标类型转换有严密的数学公式,计算过程中不需要输入转换参数,而不同椭球坐标系之间的椭球变换需要计算坐标转换参数。坐标转换参数应根据实际采用的转换模型利用数据范围内有两套坐标系的公共点坐标计算得出,不同工区、不同模型计算的坐标转换参数不能混用。

同椭球之间的地理坐标系与投影坐标系之间的

变换,采用高斯正反算公式直接计算。同一组坐标数据,ArcGIS 中进行同椭球之间的坐标变换得出的结果与常见的其他软件得出的结果完全一致,这里不再赘述。

针对不同椭球之间的坐标转换,ArcGIS 软件提供的坐标转换模型较多,包含了我国常用的坐标转换模型,如“COORDINATE_FRAME”和“MOLODENSKY”,即布尔莎七参数模型和莫洛金斯基三参数模型。七参数模型的公式推导过程和三参数的相类似,下面以莫洛金斯基模型(MOLODENSKY)为例,推导该模型坐标转换参数的计算过程。

考虑到 ArcGIS 中不能定义空间直角坐标系,那么根据广义大地坐标微分公式^[15]:

$$\begin{cases} X = (N + H) \cos B \cos L, \\ Y = (N + H) \cos B \sin L, \\ Z = [N(1 - e^2) + H] \sin B. \end{cases} \quad (1)$$

将式(1)全微分:

$$\begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} = \mathbf{J} \begin{bmatrix} dB \\ dL \\ dH \end{bmatrix} + \mathbf{C} \begin{bmatrix} \Delta A \\ \Delta F \end{bmatrix}, \quad (2)$$

其中: \mathbf{J} 和 \mathbf{C} 均为系数矩阵,略去旋转参数项和尺度变化项,并整理得:

$$\begin{bmatrix} dB \\ dL \\ dH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sin B \cos L}{M + H} & -\frac{\sin B \sin L}{M + H} & \frac{\cos B}{M + H} \\ -\frac{\sin L}{(M + H) \cos B} & \frac{\cos L}{(N + H) \cos B} & 0 \\ \cos B \cos L & \cos B \sin L & \sin B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} \frac{N}{(M+H)A}e^2\sin B\cos B & \frac{M(2-e^2\sin^2B)}{(M+H)(1-F)}\sin B\cos B \\ 0 & 0 \\ -\frac{N}{A}(1-e^2\sin^2B) & \frac{M}{1-F}(1-e^2\sin^2B)\sin^2B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta A \\ \Delta F \end{bmatrix}, \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} dB \\ dL \\ dH \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_2 \\ L_2 \\ H_2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} B_1 \\ L_1 \\ H_1 \end{bmatrix}。 \tag{4}$$

以从 *BJ54* 坐标系向 *CGCS2000* 坐标系转换为例,式(3)右侧矩阵中的大地纬度 *B*、大地经度 *L*、大地高 *H*、子午圈曲率半径 *M*、卯酉圈曲率半径 *N*、第一偏心率平方 *e*²、长半轴 *A*、扁率 *F* 均为 *BJ54* 坐标及其对应的椭球参数; ΔA 和 ΔF 为 *BJ54* 对应椭球 (*Krasovsky_1940*) 和 *CGCS2000* 坐标对应椭球的长轴差和扁率差。

式(4)中的 *B*₁、*L*₁、*H*₁ 为公共点的 *BJ54* 地理坐标, *B*₂、*L*₂、*H*₂ 为 *CGCS2000* 地理坐标, *B* 和 *L* 的单位为度, *H* 的单位为 *m*。一般情况下, *BJ54* 坐标以高斯坐标的形式给出,那么所对应的 *B* 和 *L* 可以根据高斯反算公式计算得出。考虑到 *ArcGIS* 坐标转换前后高程保持不变的特点, *BJ54* 坐标的大地高 *H* 可以利用该点的正常高 *h* 代替。

根据需要转换的数据范围内 3 个公共点的两套坐标值,可以列出 9 个式(3)的方程,采用矩阵运算即可求得其中的 3 个平移参数 ΔX 、 ΔY 、 ΔZ ;若有多个公共点的坐标值,则利用间接平差原理^[16],将 *BJ54* 坐标系下的坐标视为观测值,设 *WGS84* 坐标系下的坐标为无误差,由于各点的坐标可视为同精度独立观测值,因此观测值的权 *P* = 1,根据式(3)列出误差方程的矩阵形式:

$$V = BX - L, \tag{5}$$

利用最小二乘准则求解误差方程的待定参数 *X*,得:

$$X = (B^T B)^{-1} (B^T L)。 \tag{6}$$

最终,根据式(6)即可求解得出有多个公共点

的坐标值时的坐标转换三参数。

将 *X* 代入式(5),求的坐标改正数 *V*,利用改正数进行坐标转换的精度评定:

$$\sigma^0 = \sqrt{\frac{V^T P V}{n - t}}, \tag{7}$$

其中:*n* 为总观测个数, *t* 为必要观测数。

1.3 ArcGIS 中各坐标系向 CGCS2000 转换

ArcGIS 软件的坐标转换菜单均集合在 *Arctool-box* 的“投影和变换”工具中。按待转换文件的类型分为栅格文件和矢量文件,栅格文件的坐标变换主要涉及“平移”和“投影栅格”两类,“平移”对 *Z* 值无影响,而“投影栅格”需要对 *Z* 值进行重采样;矢量文件的坐标变换主要指“投影”。不同椭球之间转换时需预先创建自定义地理(坐标)变换方法,即选择地理坐标变换模型。*ArcGIS* 软件中的各坐标系向 *CGCS2000* 坐标系转换的流程如图 1。

WGS84 和 *CGCS2000* 同属现代意义的大地测量基准,由表 1 可以看出,这两个坐标系之间只有椭球扁率、参考框架和参考历元有些许差别,根据相关研究^[2,11],椭球扁率和参考框架引起的坐标差异基本忽略不计,参考历元不同引起的坐标差异,涉及到板块运动的速度场,根据 2000 坐标中国大陆速度场的最大值计算,参考历元引起的坐标位移约 5 cm/a^[17],即 *WGS84* 坐标与 *CGCS2000* 坐标最大差 0.6 m。所以在进行 *WGS84* 至 *CGCS2000* 成果转换时,应根据精度要求具体分析。

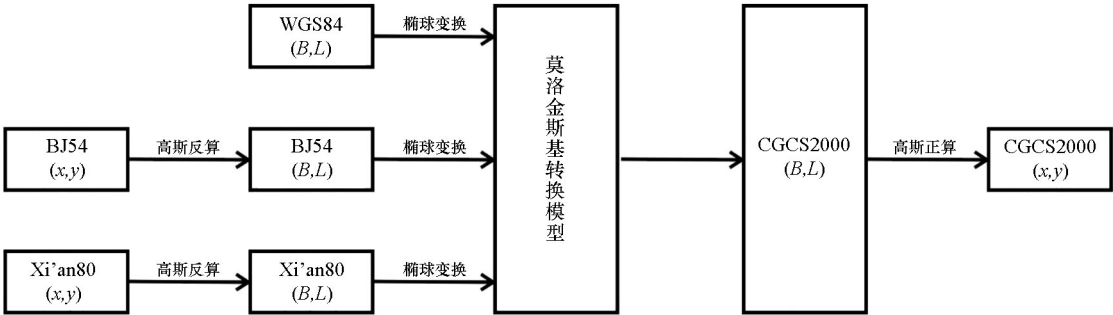


图 1 ArcGIS 中坐标转换流程

已有资料中,若是手持式 GPS 测量所得的点类成果,该类成果坐标系统属于 WGS84,若精度要求较低时,可以认为 WGS84 坐标与 CGCS2000 坐标一致;若对精度要求较高时,首先需要确定两套坐标之间的北、东坐标位移量,对栅格数据可以采用“平移”工具向 CGCS2000 转换,矢量数据则投影为高斯直角坐标系后直接加减计算就得出相应的 CGCS2000 坐标。

BJ54 和 Xi'an80 坐标系均属于参心坐标系,在椭球参数上与 CGCS2000 有很大的差异。在北纬 $18^{\circ}\sim 54^{\circ}$ 、东经 $72^{\circ}\sim 135^{\circ}$ 的范围内,由 BJ54 转换到 CGCS2000 时,北坐标平移量为 $-22\sim -74\text{ m}$,东坐标平移量为 $-61\sim +104\text{ m}$ ^[7];由 Xi'an80 转换到 CGCS2000 时,北坐标平移量为 $+9\sim +30\text{ m}$,东坐标平移量为 $+104\sim +117\text{ m}$ ^[4]。从上述可以看出,这两类坐标向 CGCS2000 转换时不能以简单的加减坐标位移量而得出相应的坐标,必须利用坐标转换模型转换。

在 ArcGIS 中进行 BJ54 或 Xi'an80 坐标向 CGCS2000 转换时,应利用数据范围内具有两套坐标的公共点坐标值,根据式 (6) 计算得出该区内的坐标转换三参数,若区内有转换参数,则首先应查清转换参数是何种模型计算得出,与 ArcGIS 软件采用的模型相一致时方可使用。在 ArcGIS 中创建自定义地理坐标变换方法,将转换参数输入,利用“投影和变换”工具,就可将 BJ54 或 Xi'an80 成果准确的转换为 CGCS2000 成果。

2 应用实例

笔者采用 2016 年青海东昆仑地区实施的某矿产地质调查项目开展 1:5 万重力调查工作时获得的测量坐标成果,在 ArcGIS 软件中进行坐标转换计算,对上述的转换方法进行进一步说明及验证转换效果。

1:5 万重力调查方法对测量精度的要求很高^[18],经规范、系统的联测工作区内的控制点,同时利用国家 B 级控制点的 CGCS2000 坐标,约束平差得出其余控制点的 CGCS2000 坐标,经统计控制网中误差为平面 $\pm 0.013\text{ m}$,高程 $\pm 0.017\text{ m}$,工区内控制点的分布情况如图 2 所示。由于重力勘探中,为方便与已有的资料融合拼接,布格重力异常求取过程中参与各项改正的测点坐标数据都一般采用为 BJ54 坐标、正常高程系统,所以在实际生产中,利用该区内 CGCS2000 向 BJ54 坐标转换参数,得出控

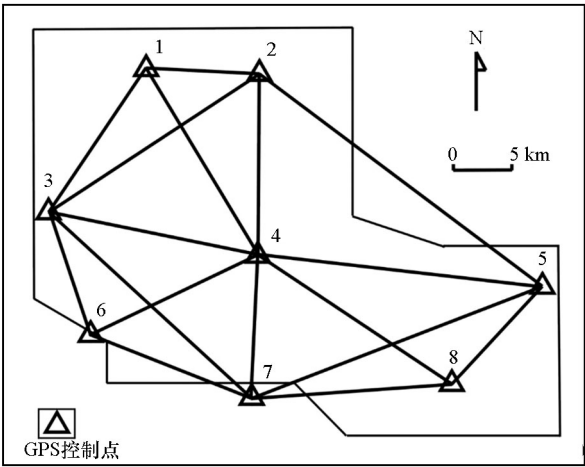


图 2 工区控制点分布

制点的 BJ54 坐标,进而在 GPS-RTK 测量时,将这些控制点的 BJ54 坐标作为基准站坐标值,即测得所有重力测点的 BJ54 坐标,精度统计采用同精度检查的方式进行,经统计测点平面位置中误差 $\pm 0.118\text{ m}$,高程中误差 $\pm 0.047\text{ m}$ 。为了进行转换后坐标值对比,同时利用控制点的 CGCS2000 坐标作为基准站坐标值,测得部分测点的 CGCS2000 坐标。

利用 7 个控制点的 BJ54 坐标和 CGCS2000 坐标,按照式 (3) 计算得出 BJ54 至 CGCS2000 转换参数,并根据式 (7) 统计转换参数的精度为 $\pm 0.035\text{ m}$ 。在 ArcGIS 软件中,输入待转换的 BJ54 坐标测点,同时,创建一个新地理坐标变换并将上述转换参数输入。即可利用 ArcToolbox 组件的“投影和变换”工具将上述测点的坐标系转换为 CGCS2000 坐标。由于 ArcGIS 不进行高程转换,则将转换得出的测点 CGCS2000 平面坐标与实测的坐标值进行比较,比较结果见表 2,由表 2 可以看出:

- 1) ArcGIS 的转换误差完全满足我们的工作需求;
- 2) 较差呈现随机误差的特征,是转换参数精度和测量精度的综合反映,而转换参数的精度取决于计算参数的控制点个数及在工区的分布情况。

表 2 测点的 ArcGIS 转换坐标值与实测坐标值较差

点数	x 较差/m			y 较差/m		
	最大	最小	中误差	最大	最小	中误差
100	0.203	-0.178	0.103	0.196	-0.184	0.076

3 结语

笔者主要探讨了 ArcGIS 软件的坐标系统管理、投影方式设置及坐标转换方法等内容,特别是针对

不同椭球坐标系之间的转换,通过理论公式的推导,得出 ArcGIS 软件中参数的计算方式及参数的精度评定方法,在 ArcGIS 软件中实现了不同坐标系向 CGCS2000 坐标系地精确转换。在此基础上,提出了已有地质、物化探成果各类坐标向 CGCS2000 坐标转换的解决方法,并将该方法应用于实际生产中,取得了理想的效果。同时,希望这些方法能够为需要利用 ArcGIS 软件进行坐标转换的其他领域人员提供一些参考。

参考文献:

[1] 程鹏飞,文汉江,成英燕,等.2000 国家大地坐标系椭球参数与 GRS80 和 WGS84 的比较[J].测绘学报,2009,38(3):189-194.

[2] 魏子卿.2000 中国大地坐标系及其与 WGS84 的比较[J].大地测量与地球动力学,2008,28(5):1-5.

[3] 史俊莉,牛鹏涛.CGCS2000 坐标系的推广与应用[J].价值工程,2014,26(2):229-230.

[4] 赵志军,冯林刚,李晶.CGCS2000 坐标系对现有地质成果的影响[J].安全与环境工程,2014,21(3):18-20.

[5] 杨亚斌,韩革命,梁萌.2000 国家大地坐标系在区域重力调查中的应用探讨[J].物探化探计算技术,2011,33(3):346-349.

[6] 李克恭,牛岸英,张斌才,等.CGCS2000 对现有国家基本比例尺地图使用精度影响分析[J].工程勘察,2010(11):67-69.

[7] 王新春,王芳,商云涛.BJS54、XAS80 测绘成果到 CGCS2000 的转换及图幅拼接方法研究[J].中国矿业,2014,23(s):319-

323.

[8] 郭充,吕志平.BJS54 测绘成果到 CGCS2000 的改正分析[J].测绘科学技术学报,2008,25(5):387-390.

[9] 林吉兆,贾登科,武警.CGCS2000 及 WGS84 坐标系若干问题探讨及应对策略[J].水运工程,2014(2):27-30.

[10] 彭小强,高井祥,王坚.WGS84 和 CGCS2000 坐标转换研究[J].大地测量与地球动力学,2015,35(2):219-221.

[11] 何林,柳林涛,许超铃,等.常见平面坐标系之间相互转换的方法研究——以 1954 北京坐标系、1980 西安坐标系、2000 国家大地坐标系之间的平面坐标相互转换为例[J].测绘通报,2014,(9):6-11.

[12] 王洪战,马燕燕,张振涛,等.基于 ArcGIS 的专题地图制作方法综合研究[J].城市勘测,2008(4):47-49.

[13] 刘艳宾,弓小平,陈斌,等.ArcGIS 在东昆仑西段铁矿资源综合信息矿产预测中的应用——以沉积变质型铁矿为例[J].地质学报,2012,86(6):1005-1019.

[14] 何政伟,黄润秋,许强,等.基于 ArcGIS 的地质灾害防治信息与决策支持系统的研制[J].吉林大学学报:地球科学版,2004,34(4):601-606.

[15] 孔祥元,郭际明,刘宗泉.大地测量学基础[M].武汉:武汉大学出版社,2006,46-47.

[16] 武汉大学测绘学院测量平差学科组.误差理论与测量平差基础[M].武汉:武汉大学出版社,2003:102-103.

[17] 魏子卿,刘光明,吴富梅.2000 中国大地坐标系:中国大陆速度场[J].测绘学报,2011,40(4):403-410.

[18] 杜辉,耿涛,高鹏,等.适用于青藏高原地区中大比例尺重力勘查的大地测量方法技术研究[J].地质与勘探,2017,53(5):915-922.

A study of transformation of the coordinate system from geophysical and geochemical results coordinate to CGCS2000 coordinate in ArcGIS

DU Hui^{1,2,3}, GENG Tao^{2,3}, LIU Sheng-Rong^{2,3}, BAI Yun^{2,3}

(1.College of Earth Science and Resources,Chang'an University,Xi'an 710054,China;2.Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Glan-tore Deposits,Xi'an 710054,China;3.Xi'an Center of China Geological Survey,Xi'an 710054,China)

Abstract: Due to historical reasons, the present coordinate systems of the geological, geophysical and geochemical exploration results are basically WGS84, BJ54 or XA80 systems; nevertheless, according to the NASG requirements on the overall use of CGCS2000 coordinates, in the future the coordinates for all kinds of results should be CGCS2000 coordinates, which causes inconvenient situation in using the results and in comprehensive research work. As a professional geographic information system software, ArcGIS has a wide range of applications in various walks. In this paper, the authors briefly introduced the ArcGIS built-in coordinate system, studied and deduced the calculation formula of the MOLODENSKY coordinate conversion method in ArcGIS, put forward the method to get the conversion and precision evaluation of transformation parameters between different ellipsoids, and cited practical examples for verification. On such a basis, the specific ideas and points for attention were analyzed for each coordinate system in the conversion of ArcGIS software to CGCS2000.

Key words: ArcGIS;CGCS2000;coordinate transformation