

8000居里⁶⁰Co辐射装置的设计与建造

张钟先 汤怀安 帅稼夫

田均良 王 农 张 卫

摘 要

本文详述了⁶⁰Co强辐射源建造中辐射室的构成、运行的机械装置、电气安全信号的联锁装置以及辐射防护效果。经测定辐射场剂量分布均匀,可利用辐射角达90%,满足了辐射育种及各种生物样品辐照要求。

辐射诱变是目前原子能在农业上应用的重要方面,是培育优良农作物品种和微生物菌种的一种有效措施。国内外在这方面已进行过大量工作,并已取得一定成效。建立本辐射源的主要目的是从农业生产的需要出发,为大力开展群众性辐射育种工作提供设备条件,同时兼顾微生物菌种、动物和工业材料等辐照任务。为此,我们依据“安全、可靠、经济、适用”的建源原则,提出如下的基本技术指标:

1. 辐照总剂量为 10^2 — 10^7 伦,剂量率为 10 — 10^4 伦/分。
2. 辐照体积为 0.01 — 100 升(小麦种子每次辐照 25kg)其均匀度为 ± 5 — 30% 。
3. 保证辐射源几何位置的再现性。
4. 可调换和补充钴源,以改变或保持其辐射强度水平。
5. 装置安全可靠、结构力求简单、使用方便、易于维修。

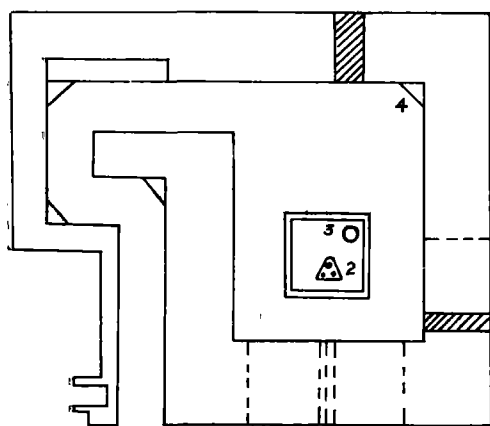
一、辐射室的构成

辐射室为长方形,有效面积 $4 \times 5\text{m}^2$,高 3.5m 。四周混凝土防护墙的厚度是按规定的防护要求,另加5倍安全系数计算的,其厚度为 1.5 — 1.7m 。屋顶厚度则按空气一次散射为源强的 1% 而求出屋外最大剂量率,然后按防护要求计算,屋顶实际厚度为 0.9 — 1m 。

曲道采用四次转弯的螺旋与“S”混合型,长度 11m ,道宽 1m ,高 2 — 2.2m 。曲道外防护墙厚 0.3 — 1m ,道口装有铅屏蔽门(图1)。

辐射室内设有通风系统。进风口设在曲道口,两个排风口位于辐射室内侧,孔道侧

• 汪文彬、伊虎英等同志参加了部分建源工作。



1.贮源水井, 2.放射源, 3.贮源铅井, 4.反井镜

图1 辐射室平面图

面为 $400 \times 250 \text{ mm}$ 。通风机每小时通风量为 14700 m^3 , 但由于通风道多次曲折使风力受阻, 故实测通风量 $9660 \text{ m}^3/\text{小时}$, 即每分钟可换气二次。

辐射室内采用水井式贮源装置。方形井面积 $1.5 \times 1.5 \text{ m}^2$, 井口中心距南墙 1.7 m , 井深 4 m 。井口设有进水口和溢水口, 使其成活水流动。井底东北角设有直径 20 cm , 深 50 cm 的备用的贮源铅井, 上加 25 cm 厚的铅塞。井下部四角各安的两只低压灯泡。

二、钴源运行的机械装置

1. 动力部分: 以400瓦三相电动机为动力, 通过制动器、减速器和 安全联轴器而带动提升鼓轮(图2)。电动机转速 1400 转/分 , 减速器的一级传动比为 $30:1$, 故鼓轮转速应为 0.6 m/s , 实测的运行速度为 0.63 m/s 。

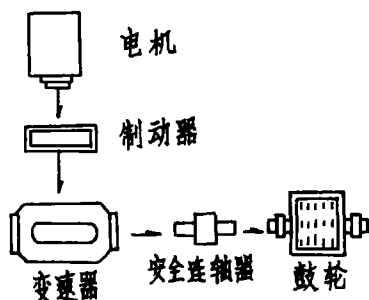


图2 动力部分

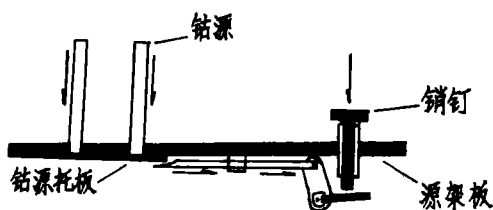


图3 机械迫降机构

2. 传动部分: 采用简便的滑轮——提绳系统。提升钴源架的尼龙线绳通出三个滑轮组与鼓轮联接, 转动鼓轮即使源架沿着垂直轨道升降。钴源架的轨道是由一根不锈钢丝绳($\phi 10.25 \pm 0.15 \text{ mm}$)穿过井底两地钩, 两端用法兰螺丝固结在天架上, 而形成两条互相平行的垂直轨道。为确保轨道间距, 在轨道上下两端各安有定位卡板。在天架上还装有定位杆, 籍以控制源架上升高度。

3. 钴源架: 为了充分利用剂量率高而均匀的空心源内腔, 采用了悬托式的钴源架, 在源架上设置了机械迫降机构(图3)。若源架运行中一旦出了故障, 可通过轨道上任一迫降重锤敲打源架上的销钉, 即可使钻源托板下垂, 所有钴棒即离开源架, 落入井中。

钴源运行机械装置安装后曾对其工作性能进行过技术鉴定, 结果如下:

①钴源升降系统：装源前让源架升降各50次，没有出现任何故障。这样，可能出现故障的机率低于万分之一。实际上，投产使用6年多来，钴源运转万次以上，从未发生过故障。

②钴源迫降系统：用假源在空中和水中各迫降25次，系统工作始终正常。

③辐射源几何位置再现性的测定：在钴源架每运行一次后，用PTW万用剂量仪测定一定位置的剂量率，试验重覆10次。从而测出因辐射源几何位置变动而引起的剂量率变化。结果如表1所示：

表1 在不同条件下源架位变引起剂量率的变化

项 目	距离 182.5cm处			距离 60cm处		
	固定源架 的 测 值	源架运行后的测值		固定源架 的 测 值	源架运行后的测值	
		旋 紧 导 轨 前	旋 紧 导 轨 后		旋 紧 导 轨 前	旋 紧 导 轨 后
剂量率平均值 (伦/分)	51.2 ± 0.018	50.9 ± 0.09	51.0 ± 0.07	521 ± 0.15	531 ± 0.80	523 ± 0.55
相 对 偏 差 (±%)	0.04	0.18	0.14	0.03	0.15	0.11

从表中数据看出，在本装置技术条件下，因源架位变而引起的剂量率变化是存在的，但其值甚小 ($\pm 0.1-0.2\%$) 旋紧源架导轨后可增强辐射源几何位置的再现性。

④钴源升降过程中剂量的变化：本辐射室内钴源升降的行程为4.4m，各需运行7秒，其速度为0.63m/s。为了了解钴源升降过程中剂量的变化情况及其对辐射总剂量的影响，我们在距源60、135和170cm处测定了当钴源离工作地点不同高度时剂量，结果如图四所示。从图中相对剂量值看出，当钴源离开工作地点10—20cm (0.15—0.30s)后，辐照物所受剂量即开始变小，一旦钴源潜入水面其剂量则急剧下降。因此，辐照时若以钴源到达或离开工作位置作为计时始终点的话，那末升降过程中所附加的剂量极少 (在距源135cm处为3.5伦)仅占通常辐照总剂量的万分之一左右，可以忽略不计。

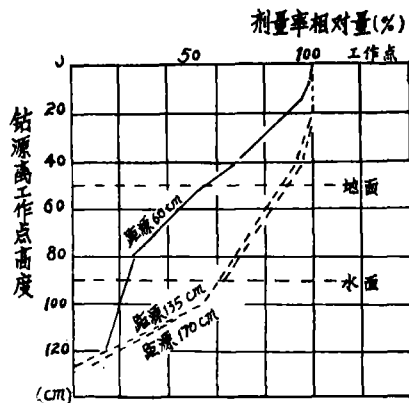


图4 钴源升降过程中剂量变化

三、电气安全信号与联锁装置

1. 技术要求

安全信号系统要求：①井内安全水位指示，水位下降自动报警；②贮源状态或升源高度的指示；③辐射室内安全剂量监督；④辐照时间的指示。

安全联锁系统要求：①曲道口屏蔽门打开时不能升源；②辐照时屏蔽门打不开，即使打开自动降源；③辐照时间终了自动降源；④在辐射室内可通过迫降按钮强迫降源。

2. 具体实施

根据上述要求设置了电气信号与联锁装置图（图略）。观察系统是在曲道的四个转弯处各安装 $50 \times 80 \text{ cm}^2$ 的反射镜一面，配合工业电视机以观察室内钴源运行和辐照物情况。

四、钴源的组合排列

农业研究上的辐照对象是多种多样的。在这些辐照对象中，辐照体积大的有活动性的动物，高大的植株和大量的种子，小的有微小的微生物菌种。照射要求的剂量率和均匀度差别也相当大。因此，在钴源个数较多的情况下，我们采用空心圆柱形排列，以满足其不同要求。

24只（直径10mm，长度为81.5mm）钴棒分别装在12支薄壁（0.5mm）的密封不锈钢管内，组成直径为126mm，高度为163mm的空心圆柱形 ^{60}Co 照射器。安装后用测定放射量的国家基准设备，以汤姆逊补偿法分别测定每个钴棒的辐射强度。测得每只钴棒平均强度为1144克镭当量，总强度为13730克镭当量（1973年9月）。其间相对偏差达2.16%。因此，我们重新调整了钴源的组合，使其强度的相对偏差减小到0.47%（表2），基本满足试验要求。

表2 调整前后各钴棒的强度值

管 号	放射性强度（克镭当量）	
	调 整 前	调 整 后
1	1115	1115
2	1104	1129
3	1155	1155
4	1097	1166
5	1060	1141
6	1218	1141
7	1272	1129
8	972	1158
9	1104	1129
10	1170	1170
11	1243	1126
12	1218	1166
平均值	1144	1144
相对偏差	2.16%	0.47%

五、防护效果的检查

钴源安装后，选用经镭标准源校正过的 $\text{CP}\pi-1\alpha$ 型闪烁辐射仪，FJ302B型闪烁剂量仪和PTW万用剂量仪分别测定了辐射室各部位的防护剂量。结果如下：

1. 备用铅井的防护效果 测定了铅井塞缝间的剂量率，除南向因缝隙较大，剂量率达50微伦/秒外，其它三方位均在15—20微伦/秒。在空井的不同深度测定各方位的剂量

率, 结果列在表3中。

从实测剂量数值看来, 除井底东北角贮源铅井周围剂量较大, 应尽量避免接近或控制停留时间(5—10分钟)外, 其余各部位允许停留时间可达0.5—1.5小时, 这足以满足工作人员短时间下井维修的需要。至于空井口因其剂量很小, 毋须控制停留时间。

2. 贮源水井的防护效果 钻井贮水后, 钴源的 γ 辐射经3.3m水层吸收后, 井口的剂量应是34微伦/小时(源架和贮源管的吸收未计), 实测剂量率为18—20微伦/小时, 接近本底剂量(13微伦/小时)。

表3 空水井内不同深度的剂量率(微伦/秒)

距井底高度(m)	方位				每天允许停留时间 (小时)
	西	北	东	南	
0.1	2.0	10.0	3.0	1.0	0.4—3.8
1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	1.3
2.0	1.0	1.0	1.5	1.0	2.6
3.0	0.7	0.6	0.7	0.7	2.5
4.0	0.5	0.4	0.5	0.5	7.8
4.5	0.35	0.35	0.4	0.35	9.7

3. 防护墙的防护效果 钴源提升出井口后, 其 γ 辐射经1.5—1.7m厚混凝土防护墙吸收, 室外的辐射剂量率多在20—30微伦/小时之间, 只有通风道口、抽水管道口和排水道口等个别防护薄弱部位的剂量率达到50—140微伦/小时。提升孔道口的剂量率最高可达14毫伦/小时。但稍偏离道口5cm后, 其剂量率则急剧减小到32微伦/小时。故对操作室内的本底剂量没有显著影响。

4. 曲道的防护效果 γ 辐射经11米长、转弯四次的曲道后, 在曲道口测得的剂量率只有0.03微伦/秒, 总共减弱 7×10^6 倍。其中距离防护效果为15倍, 而四次散射引起的减弱倍数为 4.5×10^6 。

5. 屋顶剂量及周围散射剂量 辐射室屋顶实测剂量率为720—1800微伦/小时, 而曲道顶剂量率只有30—70微伦/小时。这些穿透屋顶防护层的射线经空气散射到地面的剂量很小, 在辐射室周围的散射剂量率只有15—23微伦/小时, 而远离钴室50—70m的附近建筑物的散射剂量则完全接近本底。

综观上述防护剂量的测量结果, 可以认为本辐射装置的防护措施是比较有力的, 故测得的剂量完全符合国家卫生防护要求。

六、辐射室内剂量场的分布

采用联邦德国PTW万用剂量仪和硫酸铈化学剂量法测定辐射室内剂量的水平分布垂直分布。钴源外围的剂量率小于 1×10^4 伦/分, 用剂量仪测定。经国家计量院标定,

其误差为 $\pm 3\%$ ，空心源内腔的剂量则用钍化学剂量法测定，其精度为 5% ，与物理剂量法相比，最大偏差为 $\pm 5\%$ ，

表4 钴源圆周剂量分布 (伦/分)

方 位	圆周半径 (cm)		
	20	50	100
北	4071	657	166
东北	3970	647	173
东	4049	657	165
东南	4049	662	173
南	4225	679	171
西南	3970	657	172
西	4136	657	167
西北	4093	647	170
平均值	4070	658	170
均匀度 (%)	6.0	4.7	4.6

1. 钴源圆周剂量场分布 用物理剂量仪测定不同半径的钴源圆周八个方位的剂量分布情况，结果如表4所示。从表中数值看出，在不同的圆周半径下，八个方位的剂量均匀度均在 $\pm 5\%$ 左右，且随着半径加大，这种不均匀情况有所改善。在50厘米半径内，南向的剂量显然偏高。这可能由于南向的源架板和定位杆引起射线散射，使得剂量偏高。

在辐射源南面，水平剂量场由于受定位杆的影响而存在着对称的两个“剂量阴影”，阴影内剂量约减弱到85%。经测定阴影角各有 18° 。占总辐照面的10%。

在空心源腔内，各方位间剂量的均匀度为 $\pm 3.7\%$ ，稍优于钴源外围 (表5)。

由此可见，本辐射源的圆周水平剂量分布是均匀的，可利用的辐照角度达90%。

表5 腔内剂量圆周分布 (伦/分)

方 位	正 向	偏 15°
东	32000	32308
南	32308	32924
西	32616	32000
北	32924	33231
均匀度	2.8%	3.7%

表6 钴源腔内不同辐照直径的均匀度

辐照物直径 (mm)	均 匀 度 ($\pm \%$)
42	1.0
50	3.7
74	12.0

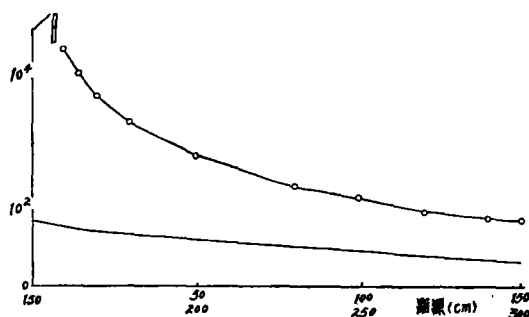


图5 钴源水平剂量分布曲线

2. 水平剂量分布 我们在距离空心源内腔中心不同距离测量剂量的水平分布，结果如图5所示。在空心源内腔，随着测点靠近源壁而剂量逐渐上升。而空心源外围的剂量率基本按与距离平方成反比的趋势逐渐减小。因此在空心源腔内，当辐照物直径小于50mm时，其剂量均匀度小于 $\pm 4\%$ 。放置辐照物时，若位置稍有偏离中心对剂量影响不大。但当辐照物直径加大到70mm时，其剂量均匀度数值就显然增高 (表6)。

我们用三种近似条件的公式计算了空心圆柱形源的水平剂量分布的理论值, 并与实测值进行比较, 结果列在表7中。

表7 钴源水平剂量分布的实测值与计算值的比较

距空心源中心的距离 (厘米)	实 测 值 (伦/分)	按点源公式的计算 (伦/分)	按等效线源公式计算值 (伦/分)	按空心圆柱型源公式计算值 (伦/分)
0	31693			34968
1.2	32000			36206
2.5	32924			38538
3.7	36000			43146
11	16378	15900	14000	17882
16	7480	7515	7109	8126
20	4600	4609	4671	5136
30	2160	2136	2135	2232
60	142	170	180	793
80	287	301	306	308
100	185	192	196	197
120	130	134	136	137
150	83	86	87	87
200	47	46	49	49
250	32	31	32	32
300	22	21	22	22
350	16	15	16	16

从表中剂量数值看出, 当距离大于20cm时, 按点源或等效线源的近似条件公式计算出的剂量值与实测值相当接近, 其间偏差均小于5%, 而按空心圆柱源公式的计算出的数值, 无论在空心源腔内或腔外, 均比实测值高10—20%。因此, 在本辐射源的具体条件下, 可以应用简便的点源公式来近似推算钴源外围各点的剂量。

3. 剂量场的垂直分布 在钴源中部距地50cm的情况下, 测定了空心源内腔中心和腔外不同距离处剂量的垂直分布, 结果以相对百分数值绘成剂量分布图(图6)。从图中看出, 在一定范围内, 剂量的垂直分布基本以辐射源中部为轴而上下对称。但在150cm以外, 由于受地面散射影响, 这种对称稍有改变。空心源腔内剂量垂直分布差别最为悬殊, 随着距离加大, 剂量垂直分布差逐渐减小。至1.2—2.0m以外, 这种垂直分布已相当均匀了。

若以现有资料绘成距离与辐照物高度以及辐照均匀度间的关系曲线(图7、8), 即可应用这些曲线求得在给定剂量率和均匀度的情况下辐照物的高度限, 或在给定的辐照物高度下选择剂量率与均匀度。

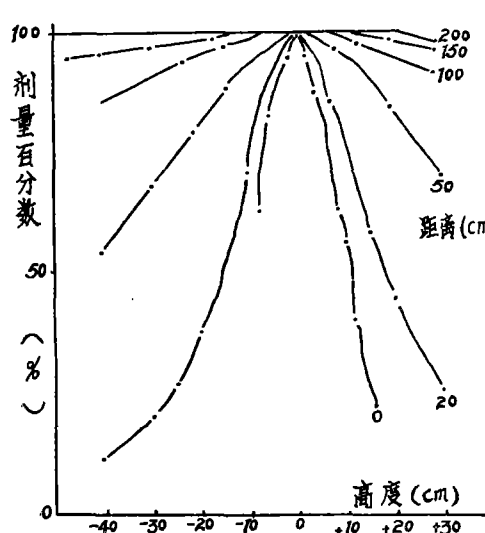


图6 钴源剂量的相对垂直分布

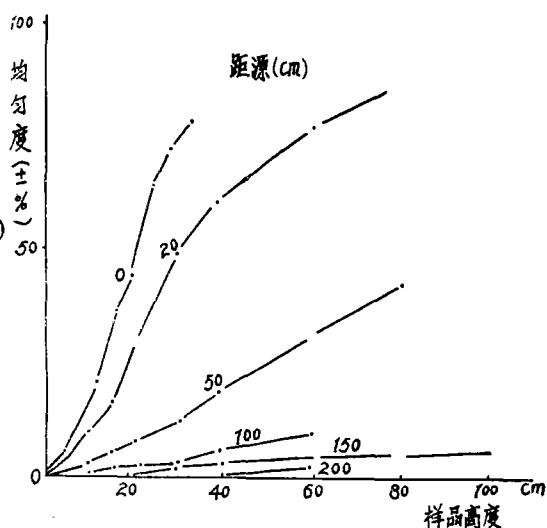


图7 辐照物高度与均匀度关系曲线图

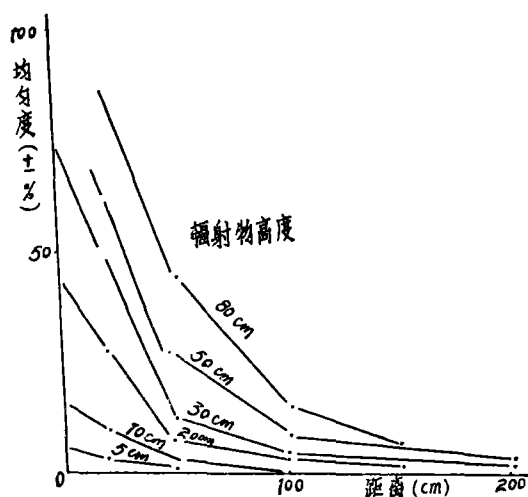


图8 在不同辐照物高度下距离与均匀度关系曲线图

小 结

1. 为开展群众性辐射育种工作, 建立以农用为主的 ^{60}Co 辐射源, 经测其强度为13700克镭当量(1973年9月);

2. 采用水井贮源装置和滑轮——提绳系统, 配合一系列安全信号和联锁系统, 可使钴源运行安全可靠;

3. 经测定, 钴室各部位的防护剂量均低于国家允许剂量的10—100倍, 符合卫生防护要求;

4. 以万用剂量仪和铈剂量法测定了钴室内剂量的水平分布和垂直分布。结果表明, 剂量率在15—31000伦/分范围内可连续选用, 圆周剂量的均匀度为 $\pm 5\%$, 有 36° 的阴影角。通过剂量的垂直分布测定, 求得剂量率, 辐照物高度和均匀度三者间的关系。

参 考 文 献

1. 中国科学院原子能研究所:《放射性同位素应用知识》, 1961年。
2. 徐永高等: 供农业研究用2000克镅当量 ^{60}Co 射线源的装置,《原子能科学技术》, 1964年8月。
3. H. 古雪夫:《放射性辐射防护手册》, 人民卫生出版社, 1959年。
4. E. A. 利贝尔曼:《放射性同位素剂量学》, 人民卫生出版社, 1962年。
5. 徐永高等: 农业研究中 ^{60}Co 射线照射方法的初步研究,《原子能科学技术》, 1964年8月。
6. 铈剂量测量法: 在 $10^5 \sim 10^7 \text{ rads}$ 下的例常应用,《原子能快报》, 1959年19期。

The Design and Construction of 8-Kilocurie ^{60}Co Irradiation Device

Zhang Zhongxian Tang Huaian Shuai Jiafu
Tian Junliang Wang Nong Zhang Wei

Abstract

The paper details the results of the construction of irradiation room, mechanical device, interlocking mechanism of electrical control system and effects of radiation protection from radiation source of ^{60}Co . The experiments indicate that dose is well-distributed in radiation field, 90% of radiation degree is available. The results demonstrate that the device meet the needs for radiation-breeding and irradiation of various biological samples.

《遥感技术动态》简介

遥感技术是本世纪60年代发展起来的新型综合性应用技术, 它在探测自然环境、勘探地球资源等方面的工作中发挥着越来越大的作用。近几年来遥感技术已经进入结合国民经济发展进行自然资源调查的实用阶段, 并取得了明显的经济效果。因此遥感技术被列入国家“七五”计划科研重点攻关项目之一。

《遥感技术动态》主要报道国内外遥感技术的现状及发展趋势, 介绍研究成果, 进行学术交流, 可为从事遥感技术应用的科研单位和个人提供有关最新信息。

该刊为季刊, 设有: 国内外发展动向、技术动态、预测与展望、学术探讨、专家论坛、成果介绍、仪器设备、会议消息、资料、简讯等10个栏目, 全年订价6元(含邮费)。

编辑出版发行单位: 中国科学院兰州图书馆情报室, 地址: 甘肃省兰州市天水路92号。