

重混凝土与水化混凝土

(用于防护放射性作用)

A·E·捷索夫著

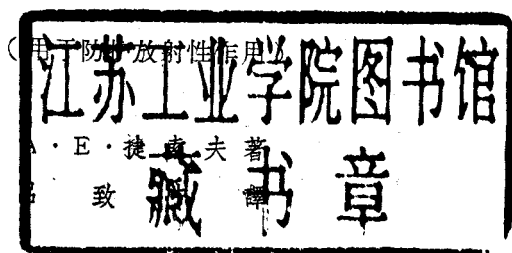
吕致中译

中国工业出版社

苏联建筑科学研究所中央工业建筑科学研究所科学报导

26集

重 混 凝 土 与 水 化 混 凝 土



中国工业出版社

本书介绍了用来防护放射性作用的重混凝土和水化混凝土的性能、配合比设计、工艺特点、集料的物理力学性能等。

本书还试图论证防护放射性辐射所需的混凝土屏蔽厚度，同时提供了符合这种条件的各种混凝土的物理性能。

此外，本书特别注意研究了掺入和未掺入各种附加剂的重集料混凝土的物理与技术性能。

ТЯЖЕЛЫЕ И ГИДРАТНЫЕ БЕТОНЫ
(для защиты от радиоактивных воздействий)

А. Е. Десов

Государственное издательство
литературы по строительству и архитектуре

Москва 1956

* * *

重混凝土与水化混凝土

(用于防护放射性作用)

呂致中譯

*

中国工业出版社建筑图书编辑室编辑 (北京佟麟阁路丙10号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ ·印张 $2^{15/16}$ ·插页1·字数59,000

1962年11月北京第一版·1962年11月北京第一次印刷

印数001—902·定价(10-7)0.45元

*

统一书号: 15165·1884 (建工-243)

目 录

序 言	1
第一章 物质的放射性裂变参数及辐射性能	5
1. 粒子的能量	6
2. 半衰期	6
3. 放射源的强度——居里 (c)	6
4. 丙种辐射的剂量单位——伦 (r)	7
5. 粒子散射的有效截面	7
6. 綫吸收系数	8
7. 质量吸收系数	9
8. 甲种和乙种射綫	10
9. 中子	12
10. 丙种射綫	12
第二章 丙种辐射及中子辐射的防护	15
1. 辐射的生物学效应	15
2. 丙种辐射及中子辐射防护材料的区别	17
第三章 重混凝土与水化混凝土所用材料的物理 力学性能	18
1. 粘結材料	18
2. 集料	19
3. 附加剂	28
第四章 重混凝土与水化混凝土的工艺特点	29
1. 重集料混凝土配合比的设计	29
2. 重混凝土与水化混凝土的制备及浇筑	45

第五章 重混凝土与水化混凝土的物理技术性能	47
1. 棱柱体及立方体强度	47
2. 挠曲时抗拉极限强度	48
3. 与钢筋的粘结力	49
4. 弹性模量	50
5. 拉伸性能	51
6. 收缩	53
7. 在1000°以内的温度下加热及干燥时水分的脱除	58
8. 抗冻性	63
9. 耐磨性	63
第六章 关于混凝土防丙种辐射性能的文献资料	63
第七章 丙种辐射对于特种集料混凝土穿透能力的 试验资料	75
参考文献	88

序 言

在和平利用原子能的时代，人們发现在国民經济各部門（工业、农业、保健事业）都有广泛应用放射性同位素的可能性。因此，在原子能工业中，如：原子能发电站；核反应堆、粒子加速器、制造与加工放射性同位素的企业；放射性的研究仪器、X射綫和丙种射綫照相装置的企业；从事放射性同位素和天然放射性元素研究的試驗室；以及工业上的射綫照相工作等部門中，保护工作人員的安全，使之不受放射性的影响，已成为一个重要的問題。

根据“真理报”1955年8月10日的报导，世界上第一座原子能发电站的鍋炉，是用3米厚的强大混凝土牆加1米厚水层来作为防护屏蔽的。

柏克萊的粒子直綫加速器^[1]，是用高3米、厚45厘米的混凝土来作为防护屏蔽。用于防御能量为2百万电子伏特的X射綫时，除混凝土牆以外，也可采用厚40毫米的鉛板。

还有一个更为重要的問題，是在建造斯坦弗尔德电子直綫加速器^[2]的过程中发生的。图1所示，是直綫加速器和防护屏蔽的布置示意图。由于放射性輻射的能量沿着装置的整个长度都是变化的，在尾部竟可达到6亿电子伏特，所以在設計直綫加速器的防护屏蔽时，曾感到极大的困难。为了将放射性輻射能級，降低到容許限度，强度的减弱倍数必須增至 10^6 。在这种情况下，防御中子流需要1.5米厚的普通混凝土牆，防御丙种射綫需用225厘米厚的鉄矿石混凝土牆。此外，被轰击的目标尚須加以特殊的保护，并应保証能够通达机器的各个部分。

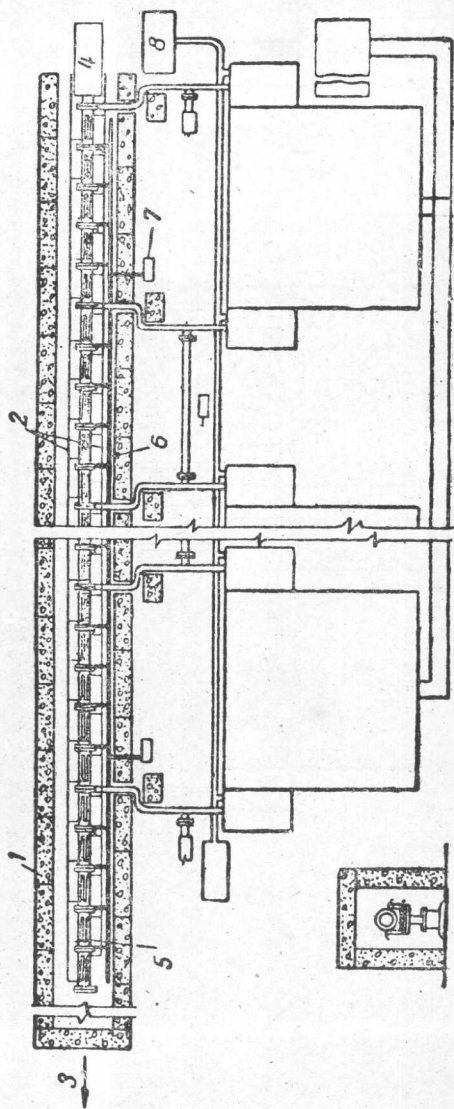


图 1 斯坦弗尔德的直线加速器

1—混凝土砌块屏蔽；2—冷却水管道；3—靶面的方位；4—电子
 投射器；5—加速器；6—安全真空管；7—真空管；8—磁控电
 子管

在加利福尼亚大学的粒子同步稳相加速器中，加速电压高达数百万电子伏特，预料机器的四周要围以高4.5米、厚1.5—3米的重混凝土墙。这种防护屏蔽的重量计有900吨。

图2所示，为英国的气体冷却反应堆的防护屏蔽的示意图^[3]。

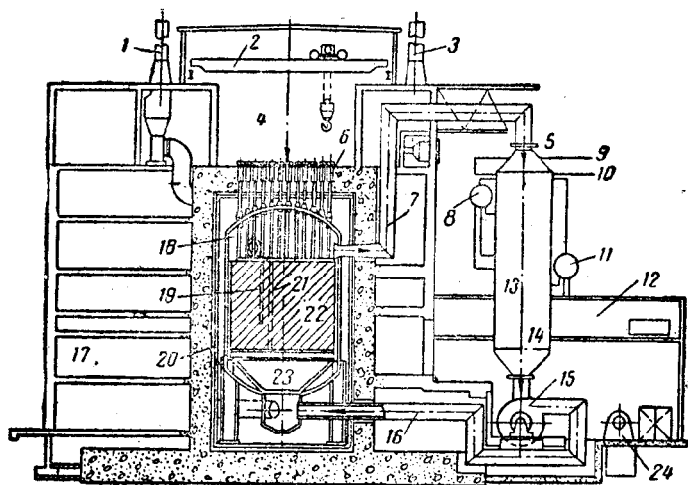


图2 气体冷却反应堆

1—空气冷却管；2—桥式吊车；3—空气冷却管；4—操纵间及装料的正面；5—热气体；6—装填筒；7—热气体通道；8—高压气缸；9—高压蒸汽；10—低压蒸汽；11—低压气缸；12—桥式吊车；13—热交换器；14—冷气体；15—电动冷却通风机；16—冷气体通道；17—控制机构和替续机构；18—控制棒；19—控制棒；20—热中子反射层；21—铀棒；22—石墨减速剂；23—调节室；24—发电机

在工业部门和医学方面，正在广泛地应用着装有各种强度不同的放射性钴60的ГУП式三种射线装置。

根据Г.М.葛兰报导^[4]，不久以前，在俄克利德军医研究院建立了一座治疗癌症用的钴60射线源，强度为1000居

里。

在所有从事同位素研究的科学研究实验室内，均必须建造很厚的防护墙（图3）。

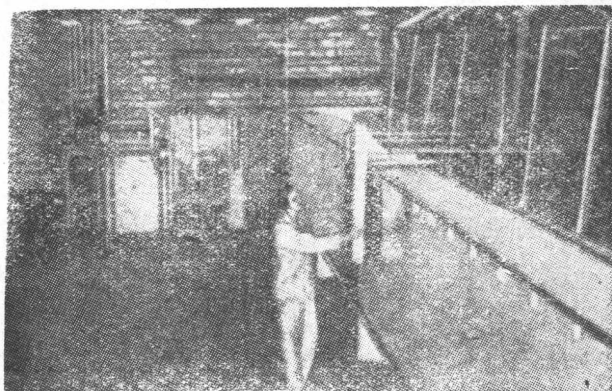


图3 实验室的防护墙

图4所示，为贮藏放射性同位素的特种仓库的模型。它是一座复杂的构筑物。

最后，对于如何排除和贮藏生产与科学研究中的各种废料的问题，应予密切的注意。

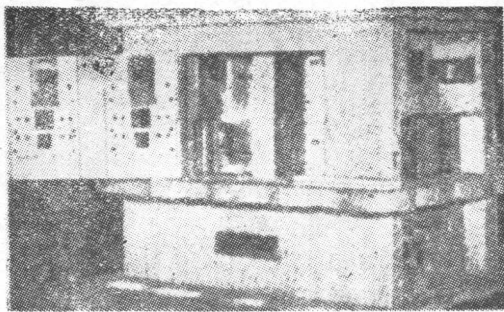


图4 同位素贮藏库模型

强度較大的源，往往要求建造非常厚大的防护屏蔽，因而不仅要增高构筑物的造价，并且会影响到构筑物的平面布置和結構形式。

本书是试图論証防护放射性輻射所需的混凝土屏蔽厚度，同时提供符合这种条件的各种混凝土的物理性能。

本书特別注意研究掺有各种附加剂（硼酸盐、硼砂等）与未掺附加剂的重集料（重晶石、褐鉄矿、磁鉄矿及鑄鉄廢块）混凝土的物理与技术性能。

本书是中央工业建筑科学研究所混凝土實驗室在A. E. 捷索夫教授的领导下，由助理科学研究员B. И. 納道利斯基和Г. Л. 格兰別尔格編写的。书中关于确定丙种射綫的吸收系数的实验部分，系中央工业建筑科学研究所根据协作合同，与苏联医学科学院劳动卫生及职业病研究所共同提出的。实验工作是由劳动卫生及职业病研究所H. H. 古謝夫副教授领导，并在工程物理学家H. B. 維尔申宁的参加下进行的。工程师B. П. 加拉羌和Ф. К. 米哈依洛夫参加了实验操作和結果的討論。

第一章 物质的放射性裂变参数 及辐射性能

1. 粒子的能量

一般我們用以測量粒子能量的單位是電子伏特。1 電子伏特就是一個電子經過一伏特電勢差時所獲得的能量，它的大小等於 1.6×10^{-12} 爾格。因為這個能量單位很微小，所以經常用 1 百萬電子伏特作為單位（百萬電子伏特）。

2. 半 衰 期

放射性物質的活性^①，通常是隨着時間逐漸衰減的。對於一定量的某種放射性物質來說，它的活性可能在不到 1 秒鐘的功夫就減少到極為微小的數值，然而，也可能在幾百萬年內幾乎不衰減。這要由同位素的種類來決定。

一種放射性物質，其活性衰減一半所需的時間，叫做半衰期。現在以放射性碘 131 (I-131) 為例。該種同位素的半衰期為 8 天，就是說，過了這段時間後，樣品 I-131 的活性將衰減一半。

應用最廣泛的放射性鈷 60 的半衰期為 5.3 年。

3. 放射源的強度——居里 (c)

放射源的強度決定於發生輻射的物質的數量，通常以 1

① 活性——一般將放射性物質裂變時間的長短，稱為活性。——譯注

克純鐳在 1 秒鐘內裂變的次數（每秒裂變次數為 3.7×10^{10} ）作為量度的標準^①。實際上經常是用毫居里（等於 0.001 居里）作單位。居里數並不說明放射源中所有的物質的絕對數量。因為，極微量的半衰期短的物质可能與很多量的半衰期长的物质具有同等的能量。

放射性強度為 1 居里，質量數為 A ，半衰期為 T 秒的放射性同位素的克當量為

$$8.9 \times 10^{-4} AT \text{ 克。}$$

任意 1 克同位素的強度為

$$\frac{1.13 \times 10^{13}}{AT} \text{ 居里。}$$

4. 丙種輻射的劑量單位——倫 (r)

一般我們用以測量任一點受丙種輻射的劑量單位是倫 (r)。1 倫就是在標準狀況下，使 1 毫升乾燥空氣中產生 1 靜電單位同號離子的丙種輻射能量。倫是輻射能量的量度，而不是強度。通常用 1 秒鐘內的倫數（倫/秒）來表示輻射強度。

5. 粒子散射的有效截面⁽⁵⁾

現在研究一下粒子在一羣靜止的而無序地分布的球體中間進行運動的情況。

粒子通過任何物質層而不碰撞的幾率，系隨着層的厚度 x 的增加，而按指數規律逐漸減小。其關係式可以表達為：

$$f(x) = e^{-ax}, \quad (1)$$

式中 a ——常數，等於粒子平均自由路程長度的倒數：

^① 一塊放射性物質每秒有 3.7×10^{10} 個原子裂變，就說它的放射性強度是 1 居里。——譯注

$$\alpha = \frac{1}{\lambda} \quad (\lambda \text{ 为粒子自由路程长度})。$$

α 值的量綱可用下述形式代表:

$$[\alpha] = \frac{\text{平方厘米}}{\text{立方厘米}} = \text{厘米}^{-1},$$

亦即等于单位体积物质的有效截面的总和。

6. 綫吸收系数

电子束减弱, 系遵循下述的規律:

$$\frac{J}{J_0} = e^{-\mu x} \quad (2)$$

式中 J_0 ——射于屏蔽正面的电子流的强度;

J ——穿过层 X 后的电子流的强度;

μ ——与系数 α 有着同一的意义, 即电子散射的物质

的原子有效

截面总和。

按照关系式

(2), 可以

繪成图 5 所

示的曲綫。

綫吸收系数頗类似于混凝土的振动阻尼系数, 并且两者的量綱也相同, 均为长度的倒数。吸收系数的倒数 $1/\mu$ 是表示吸收单位能量所需的物质层的厚度, 一般也叫做粒子的自由路程长度。

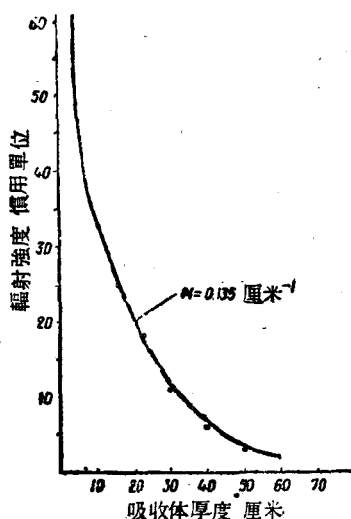


图 5 吸收曲綫

7. 质量吸收系数

綫吸收系数与密度的比值叫做质量吸收系数。

近似地可以认为，总綫吸收系数与物质的密度是成正比例的。所以，质量吸收系数的一級近似值与物质的本性无关。

在一定的电子速度下，綫吸收系数不决定于我們所研究的物质的性质，也不决定于集料的状态，而仅仅与其在該种速度下的密度有关。与此相反，质量吸收系数在一定的电子速度下則維持不变。对于各种輕元素來說，这是特別正确的。因为水的密度等于1单位，所以輕元素的质量吸收系数与水的綫吸收系数大致相等。換句話說，就是将水的綫吸收系数乘以某种輕元素的密度，即可近似地估計出該种物质的綫吸收系数。例如：混凝土的平均密度与鋁相同，因而其組成元素的原子量，亦接近等于鋁的原子量。在表1中，根据辐射能量列出了鋁对丙种射綫的总吸收系数的实验值。

鋁对丙种射綫的吸收系数

表 1

	丙种輻射能量(百万电子伏特)					
	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
总吸收系数 (厘米 ⁻¹)	0.23	0.16	0.12	0.09	0.075	0.061

上述的原則，在电子速度保持不变的条件下是正确的。但，如果速度变化时，則质量吸收系数也会发生变化，即随着电子速度的增加而质量系数迅速地减小（与电子速度的四次方成反比例）。当电子速度增大时，对物质的穿透能力亦

有显著增加。

表中所列数据是在实验中保证了良好的几何条件下得出的，因为这样的几何条件能够保证使散射的光子流不致触到记录仪器。

当通过厚物质层时，如果厚度大于粒子的自由路程长度（吸收系数的倒数），就会发生散射，而使实验的几何条件恶化。考虑到散射的影响，应在表示辐射强度随着距离衰减的指数方程中代入一个所谓积累系数 B ：

$$J = J_0(1+B)e^{-\mu x} \quad (3)$$

积累系数是辐射能量、吸收系数和吸收层厚度的复合函数。

除质量吸收系数之外，有时还应用原子或电子吸收系数这个术语。

经常是使用半防护厚度（полутолщина）这个名词，即是使辐射强度减少一半所需的防护厚度；半防护厚度 D 与吸收系数 μ 之间的关系，可直接由公式（2）导出如下：

$$\mu D = \ln 2 = 0.693。$$

如果已知线吸收系数，由此即可求出半防护厚度；反之，如果已知半防护厚度，则可求出线吸收系数。

8. 甲种和乙种射线

要正确地设计防护屏蔽，必须了解应该防护什么。

天然放射性元素和放射性同位素系以其所放射的甲种、乙种及丙种射线或中子流，对生物的机体组织发生作用。如果机体组织直接受到甲种及乙种粒子的作用，即可引起电离。

甲种射线代表一组带正电的氦原子核（ He^{++} ）的粒子

流，核中包含有两个质子和两个中子。由此可見，甲种粒子带有两个电荷。它的速度高达光速的1/5倍。因为甲种粒子有相当大的质量，所以它比較容易被阻止。用很小厚度的物质（几頁书写用紙或一层厚0.05毫米的鋁箔）就能輕易地将甲种粒子吸收。只要是不将甲种粒子吞入胃中或是輕量地吸入气管，甲种粒子对人体的健康是没有什么損害的。

乙种射綫是由电子流或正电子流組成的。这是一种带单一电荷的粒子，其能量由14,000电子伏特（如氫 3^①）至13百万电子伏特（如鋰）。

厚度3毫米的鋁板能够吸收能量为2百万电子伏特的乙种射綫。乙种射綫对于人体健康的損害作用要比甲种粒子小，因为它的电荷較少。

防护甲种輻射的問題，对于工程师說来并不是难事。但是，如要进行甲种輻射物的机械加工，例如車削外圓和螺紋时，必須使其不发生灰尘。因为甲种輻射物的碎片，毕竟是在存在着放射性的，所以要保証不使这些灰尘进入人的身体之中。为了达到这种理想的条件，可采用受有負压力作用的頂盖和箱套，以及专为此种生产业务制作的真空吸尘器。

防御乙种輻射的問題，对于工程师說来同样也不困难。但是，假如用一块金屬屏将能量較高的乙种粒子的速度迅速降低，随着粒子能量突然的减低，往往伴随产生一些柔弱的丙种量子。这种現象便是大家熟知的輻致輻射（*тормозное излучение*）。

在某些情况下，人为制造的放射性同位素也如同天然存在的同位素一样，既放射出乙种粒子，又放射出丙种射綫。

非常明显，在这种情况下，如果对丙种輻射能够加以十

① 即超重氫，一般称氚（ H^3 ）。——譯注

分可靠的防护，則对于阻擋乙种粒子說来，将会是綽綽有余的。

9. 中 子

中子是一种质量和质子大致相等的、不带电的粒子。通常可将中子分为三类：1)快中子；2)中速中子或共振中子；3)热中子或慢中子。中子具有巨大的穿透能力。快中子可以用含有氢原子的物质（水、石蜡）减速。所謂中速中子或共振中子，即是那种能量比快中子低的中子。任何一种材料，在某一特征能量值之下，有效俘获截面可能有比較剧烈的增大或减小。慢中子或热中子能够被俘获横截面較大的一些物质（硼、鎳）所吸收，因此，广泛地用作反应堆的控制棒。硼要比鎳好些。因为，用硼吸收中子时，是放出易于阻擋的甲种粒子。而用鎳吸收中子时，則放出丙种射綫，所以本身尚須加以屏蔽。

10. 丙 种 射 綫

丙种射綫代表一种光子流。丙种射綫是当物质由某一能級跃迁到較低的能級时出現的。頻率 ν 可按下列公式求得：

$$E = h\nu,$$

式中 h ——普朗克常数；

E ——能量。

光子的速度永远与光速相等，而与它的能量大小无关。光子不带电，因此，它的效应应归結为电离性輻射。丙种射綫具有巨大的穿透能力，同时，由于它比X射綫更为强硬（丙种射綫的波长較短），所以对生物机体的伤害作用也更大。