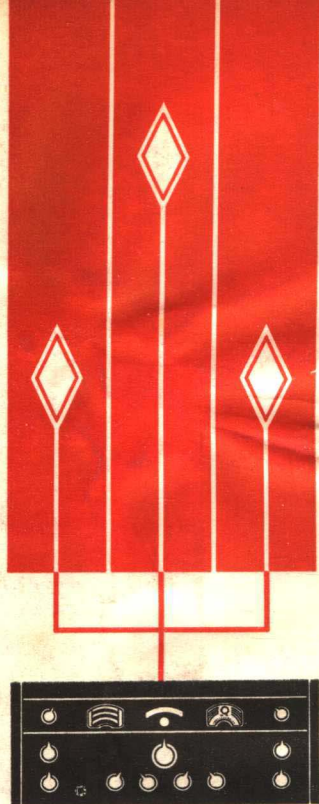
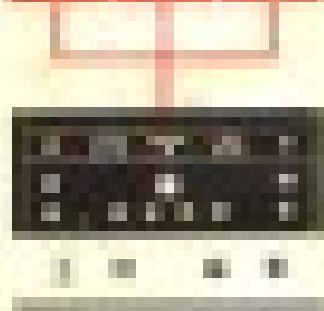
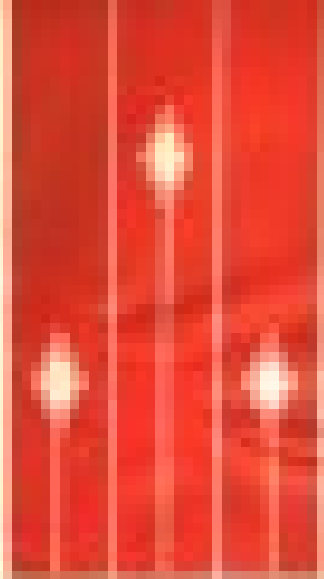




王 琪 编 著

无线电分集收信原理及应用

人 民 邮 电 出 版 社



无线电分集接收原理及应用

作者：[作者姓名] 出版社：[出版社名称]

无綫电分集收信原理及应用

王 琪 編 著

人 民 郵 電 出 版 社

内 容 提 要

本书首先簡要地說明无綫电短波通信中的衰落現象及其原因，然后介紹克服衰落的方法，即分集接收法的原理和方式。最后一章叙述分集收信机的装置、調整和具体維護方面的問題。

本书主要是供无綫电收信机务員閱讀，也可供電信方面专科学校学生等參考。

无綫电分集收信原理及应用

編著者： 王 琪

出版者： 人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市書刊出版业营业許可証出字第〇四八号)

印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂

发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

1963 年 7 月北京第一版

印張 1 24/32 頁數 28

1963 年 7 月北京第一次印刷

印刷字數 39,000 字

印數 1—4,900 册

統一書号：15045·总1169—无361

定价：(9) 0.22 元

目 录

1. 短波通信中信号衰落的现象和原因	1
1.1 短波传播的特点	1
1.2 衰落的原因、型式和它对通信的影响	2
1.3 对抗衰落的方法	5
2. 分集接收的简单原理和方式	6
2.1 各种分集方式的基本原理	6
2.2 分集收信机的併合方式	14
2.3 移频电报、传真和单边带通信使用分集接收的併合 方法	22
2.4 只用一具收信机的分集接收方法	33
2.5 各种分集制及合併方式的比較及实践中的几个問題	38
3. 分集收信机的装置、調整和維護	42
3.1 新机装置的校准工作	42
3.2 运轉中操作应注意的問題	46
3.3 分集收信机的維護和性能測定	48

1. 短波通信中信号衰落的現象和原因

1.1 短波传播的特点

无綫电通信是利用电磁波来传递信息的，故电磁波的传播对通信影响极大。无綫电发射机发出的电磁波通过空間到达收信端的传播方式是多种多样的。不同波长或頻率的无綫电波有它們自己最佳的传播方式。例如較低的 300 千赫以下的无綫电波，主要部分的能量是沿着地球表面传播的。这种传播方式我們称它为“地波传播”。由于地面上土壤对电波能量的吸收作用随着电波頻率的增高愈来愈大，因此頻率愈高电波能够依靠地波通达的距离就愈来愈短。当頻率高到短波段內时（3—30 兆赫），地波传播的有效距离就只有几公里了。因此短波段的地波通信沒有实用上的价值。天綫上发射的无綫电波除了沿地面传播的地波外，还有以一定角度向上发射的电波，称为“天波”。天波是射向空間的，按理它們是无法到达接收点的。但是由于在地球周围离地表面約数百公里高度的稀薄空气受太阳的影响产生电离，构成所謂“电离层”。电离层对短波段的无綫电波能够折射或反射，使得大部分的电波以一定的角度反射回到地面。正是由于这个电离层“鏡子”才使得短波远程通信成为可能。但是电离层是由于太阳的照射而造成的，它的物理情况和太阳本身的活动，太阳照射强度等等因素有密切关系。因此电离层除了随年份、季节、昼夜而变化外，它的組成部分也是很均匀的。它不象一面鏡子那样平滑，倒象是白浪翻滚的海面。由于高空大气密度和对太阳光譜的吸收率不同，电离层一

般由几层組成。按离地高度分为 D 层、 E 层和 F 层。除这些外还有一些中間层。无线电台发出的电波即使是用定向性很高的天綫，它們也不能是很狭的“一条綫”而是以一定的面积照在电离层上。由于电离层被电波“照射”的每一部分都处在不稳定的情况，因此反射到地面上接收点的无线电波强度是不稳定的。再就是发射台发出的电波在到达接收点前，所經過的途径长度也不可能一样，反射到地面的电波是到达該处許多波的分量的矢量和。这些矢量随着电离层变化和反射次数而不断地变化。因此它的綜合量是杂乱地变化的。这就造成短波通信中收音机收到的信号时强时弱的“衰落現象”。另外，如多次反射、地磁对电磁波的影响等都会造成衰落。

和有綫通信、长波或超短波无线通信比較，短波电路的传播稳定度是非常低的。怎样克服短波通信这个先天性的缺点，是无线电通信技术中一項重大的課題。分集式接收是一个比較有效的解决办法。

1.2 衰落的原因、型式和它对通信的影响

上面已提到，短波通信的衰落現象产生的原因是由于电离层的不稳定性。无线电波由发射点到达接收点时經過的途径可以是多种多样的，有些波只受到电离层反射一次，有的要受到二次或更多次的反射；有的只受到低层电离层 E 层反射，有的受到高层电离层 F 层的反射。无线电波經电离层传播的情况与电离层当时的性质，波的頻率，发射时射入电离层的仰角有密切关系。当这些不同传播途径的波到达接收机的天綫时，由于它們的相角不一样，因此它們在天綫上感应而生的交变电压的相角也不一样。天綫上得到的电压是这些不同相位、不同数量感生电压互相加減的結果。由于电离层的传播特性和电波經過

途径的长度，都是不断地在变化的，收信天线的感应电压当然也将随着不断变化。这就是衰落的原因。这里的衰落是指由于电波各个分量互相干涉造成的接收点信号强度起伏的现象。这里不包括由于电离层吸收或临界频率变化而致的长时间衰落。

在收发两端的距离太长的情况下，不同频率的无线电波所走的途径差别不大。因此在相当频率宽度内的各个频率的电波，在某一接收点收到的强度变化起伏情况或衰落是很接近的。这样的衰落方式我们称它为“平坦衰落”。但是当收发两端距离增大时，不同频率的电波所经过的传播途径可能差别很大。因此在一定接收点同时衰落的电波的频带范围就逐渐缩小。在远距离，例如越洋通信情况下，同时衰落的波的频带变得非常窄，这样就构成了所谓“选择性衰落”。也就是说发信机发出的信号波中的每一个频率，在接收端并不是同时受到一样衰落影响的。我们知道，任何无线电信号都不可能是单一频率的电波，它们都是由许多不同频率的波组成的。例如无线电电话的信号波是由载波和两组边带波构成，载波的频率是无线电发射机被指定使用的频率（呼频），边带波一般各占300—3000赫的频宽（在广播中所用的频带更宽得多），两个频带的总宽度也就是无线电电话信号的工作频宽。

当选择性衰落存在时，载波与边带的衰落情况是不同的。因此在接收点的信号内，各个分量的比值就不能和发送端一致，产生所谓选择性衰落失真。例如载波衰落边带不衰落时接收端信号的调幅度就要增高，因而产生过调幅失真。选择性衰落是短波无线电电话或广播电路质量上一项重要的问题。

除了前面提到的，由于不同途径来的波相互作用所产生的平坦衰落和选择性衰落外，还有一种由于接收点无线电波的

极化方向变化而产生的衰落，我們称它为“极化衰落”。我們知道，无线电波是由电场和磁场组成的，电场磁场和波的前进方向彼此互成直角。我們通常把电场的方向称作无线电波的极化方向。无线电发射台发出的无线电波的极化方向是和发射天线的对地面位置一致的。例如一根垂直天线发出的电波是垂直极化。也就是說，电波的电场是垂直于地面的；平行悬挂的天线发出的波将是水平极化的。在收信方面情况也正相同，垂直极化的电波对于垂直装置的天线感生最大的电压；而水平极化的波就只能对水平天线起作用。这是因为水平极化波的磁场是垂直于地面的，它只能“切割”水平天线使之感生电压。因此，在理論上，如果要得到最好效果，收信天线一定要和发信天线的方向一致。但事实上短波无线电波经过电离层后，由于电离层的特性，反射后的波的极化方向并不和发信时一致。而且是不断变化的。这样的极化，我們称它为“椭圆极化”。椭圆极化使得收信天线收到的信号强度随极化方向的变化而变化。我們称这种现象为“极化衰落”。在短波电路中的传输衰落，还有“吸收衰落”和“干涉衰落”。由于它们比較次要，这里就不谈它了。

衰落的发生是随机的，也就是說，某一時間內，某一条短波通信电路将发生几次衰落，每次衰落的深度和持續時間都是事先无法知道的。我們只能用数学統計方法求出它的概率（即发生的可能性太小）。例如我們統計某一条短波电路在一个比較长的時間（假定十小时）內收到的信号强度。我們可以看出收到的信号强度有时很弱有时很强。較强的時間只占据整个統計時間的一小部分，比較多的時間內，信号的强度是中等的。我們把統計時間內一半時間（假定为五小时）信号能达到的强度值称作“中值”。根据“中值”我們就可以由图 1 的曲綫求出在統計時間內，信号超过或低于“中值”一定强度所占時間的百分

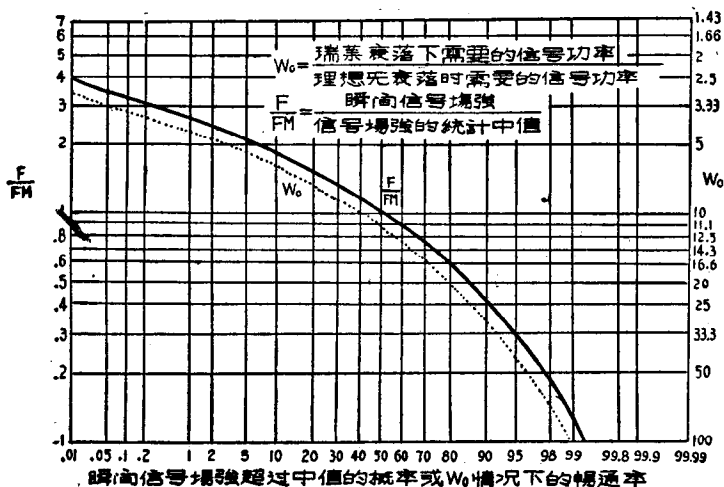


图 1 衰落的概率分布

比。如果这个强度已能满意地使收信机正常工作的话，这求得的百分比就是该电路在统计时间内的畅通率。这条曲线叫作“瑞莱分布曲线”。一般情况下，衰落的起伏变化是属于“瑞莱分布”型的，当然，也有些例外情况。

在理想的、没有衰落情况下的接收点信号场强是“瑞莱分布”曲线中值的 $\frac{1}{\sqrt{0.693}} \approx 1.2$ 倍。因此如果没有衰落的畅通率是 100% 的话，衰落情况下的畅通率约只有 37%。由曲线可以查出，如果用提高发信功率来提高畅通率的话，由 37%，提高到 99%，需要把发信功率提高 20 分贝或 100 倍才能达到目的。

1.3 对抗衰落的方法

衰落现象对于以电离层作为传播媒介的短波电路来说是客

觀存在无法避免的，因此抗拒衰落，減輕它們的影响就成为短波通信技术中一項重大的課題。迄目前为止，比較有效的抗衰落方法有：分集式收信，自动增益控制，提升載頻式检波，自动控制天綫仰角等几种。其中以分集式收信結合自动增益控制的方法最为有效，已成为短波无綫电路的标准制式。其他方法应用范围不广。

分集收信方法是利用无綫电波的衰落在不同接收地点，不同的天綫方向或不同的頻率并不同时发生的特点，以取得基本上不受衰落影响的信号。分集方法按照上面的情况可以分为空間分集、极化分集和頻率分集三种。它們各有优缺点，可以根据收信环境、条件选用一种或者二种合併应用。除了收信端的分集接收外，在收信端由于条件欠缺无法或不便采取分集接收时，可以采取发信端“分集”这方法对普通广播有一定价值，但通信方面一般不用。

提升載頻式检波是将外来信号的載頻滤出，用它来控制本地振盪器。本地振盪器的电压比外来的高得多并且很稳定。这样，外来載頻由于选择性衰落而起的变化可以不致引起检波失真。这对于短波广播或无綫電話的收信质量可以改善很多。分集发信和提升載頻检波不属于本书范围，此处不作詳述。

2. 分集接收的簡單原理和方式

2.1 各种分集方式的基本原理

“分集”可以解释作“分散（接收）”与“集合（輸出）”。所謂“分散”是指接收必須同时在两种以上的不同情况下进行；“集合”则是指把不同情况下同时收到的信号加以合併。因此可

以理解到任何一种分集收信系統都至少是“双重”或者說至少要具备两个以上的信号支路的。例如由几付天綫和几組收信机前級放大級或甚至几架收信机組成。但也有某些簡陋的裝置，沒有明显的多重設備，只有两付天綫和一具收信机，用自动交换开关进行工作。但这些設備效果較差，很少采用。

分集方式最常用的一种是“空間分集”。它根据的原理是：两付或两付以上彼此間互相距几百米（一般至少在 200 米以上或几个波长以上，最好在 10 个波长以上）的天綫所收到无綫电波的衰落是不同时的。即甲天綫信号衰落时，乙天綫不一定衰落，乙天綫衰落时，甲或丙天綫不一定衰落。即使同时衰落，它們衰落的程度也不会一样的。这个原理可以用 1.1 节的說明来解释。我們知道，天綫上的射頻信号电压是发信台发出的无綫电波經過电离层的返射到达天綫后感应而生的。前面曾提到，来自电离层的电波，由于电离层的結構关系，一般都是由許多不同相角的分量組成的，每一分量都在天綫上感生一个具有一定相位的电压。天綫輸出到收信机的电压是这些电压疊加的結果。經电离层反射到接收天綫的电波每一分量的相角都是随机变化的。两付不同地点的天綫上的电压变化当然不可能正好一致（專門術語叫“不相关”）。衰落既然是不同相角的电波分量消长的結果，当然两付天綫上的衰落絕少可能同时发生的了。如果我們用合适的方法經常选择某一瞬間信号最强的天綫輸出，送入收信机，就可以在很大程度上消除衰落的影响。分集的效果随着天綫数量的增加而增加，一般調幅信号，如普通电报、电话等宜用三付天綫組成的三重分集比較好。調頻信号如移頻电报、移頻传真等，有二重分集也就可以了。天綫付数超过上面的数目效果增加不大，但設備費用要增加許多，故不太經濟。

“极化分集”的原理基本上与“空间分集”相同，只不过是用的极化面代替不同的空间。空间分集制的天线都架设在同一高度但地点不同，极化分集制天线则是架设在同一点，但是各个天线彼此间互成一个角度（一般互相垂直）。由于短波来波的极化面经常变化（椭圆极化），因此当水平天线衰落时，垂直天线不一定衰落，反过来在垂直天线衰落时水平天线也不一定衰落。这样适当的选用瞬时不衰落的那付天线的输出，就可以不受或少受衰落的影响了。极化分集制的效果比空间分集制稍差，但设备比较经济，特别在没有足够天线场地的收信台用起来很方便。

“频率分集”制是使用二个或多个频率同时传送同样的信号，由于不同的频率不会在同一时间衰落，因而获得抗衰落的效果。频率分集对频带利用来说很不经济，一般在短波波段很少采用。

除了选用某一种单一的分集制外，有时为了得到更高的抗衰落效果，可以将两种分集方式同时使用。例如，空间—频率分集制或极化—频率分集制。象移频电报，本身就具有天然的频率分集作用，如果采取空间分集收信，并且适当地将收信机电路进行安排，就可以得到既有空间分集也有频率分集的“四重”分集系统。

干线短波无线路采用的标准分集制是空间分集制。空间分集的工作原理如图2。分集的重数要看接收那一种调制方式的信号而定。一般接收调幅电报或电话的收信系统，需要用三付天线和三具收信机如图2a。图中 A_1 、 A_2 、 A_3 是三付同一程式的天线，它们的电性能应该尽可能相似。 R_1 、 R_2 、 R_3 是三具同一型号的收信机，例如430型。三具收信机的高放、中放级，各自放大一付天线的输入信号。它们的检波二极管和自动

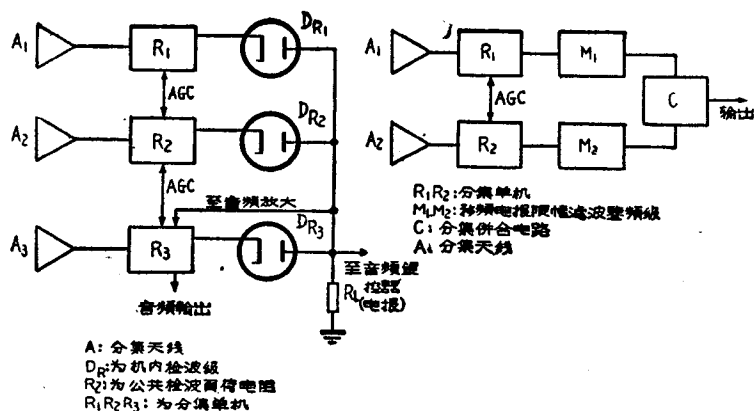


图 2a 三重分集等幅电报或电话收音机

图 2b 二重分集移频电报收音机

增益控制电路 (AGC) 输出都併在一起，音频输出接到同一具输出放大级。当三付天线中任一付的衰落影响最小时，其收音机检波二极管负荷电阻上的电压最高。由于三具收音机的 AGC 电路和检波电路都是并联的，因此其他二具收音机的增益是和收到强信号的那具收音机一样。结果它们的检波管输出电压相对地要比收到强信号那具收音机的输出电压低得多。由于检波管的并联，两只弱信号输出检波管受到强信号管输出信号的“阻塞”而不起作用。结果只有强信号的那只检波管起检波作用，达到自动选择最强或衰落最小信号的目的。这是三重分集接收调幅信号的基本原理。

移频电报的接收，一般只用二重分集，三重的效果比二重高得有限，因此很少使用。移频电报的分集，除了如图 2b 所示，用两付天线和两具收音机自动增益电路互相连接外，输出的併合比较复杂，这留待后面再行讨论。

空间分集制的效果好坏要看天线的排列距离和收音机的併

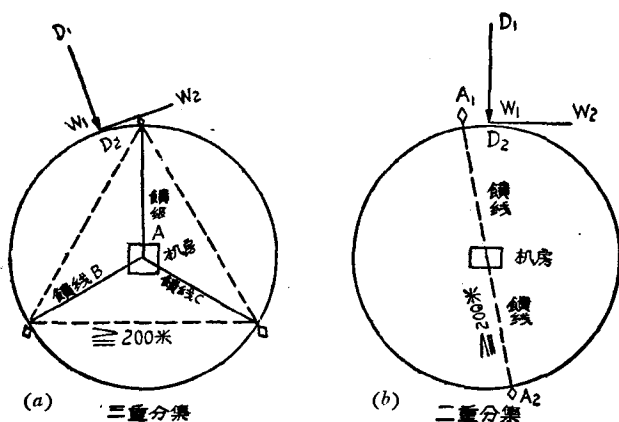


图 3 二重及三重空间分集天线排列法

合方式，特别是天线布置更为重要。分集天线的排列一般有图 3 几种方式。

我們知道，要分集接收的效果最大，必需是組成三个分集系统的各付天线所收到的信号不同时衰落或不相关的。这样才能经常选得衰落最小的信号。要做到这点每付天线間应当有相当的距离，而且要如图 3 那样排列。具体安排要看場地环境大小决定。原则上是以接收方向作标准，二重分集天线可排成与来波方向平行；三重分集可排成三角形。三角形的任何一边应避免和来波垂直。天线互相間距离应在 200 米以上。距离太大效果增加得并不太多而場地占用上不很经济，反而因饋线太长，損失要增加。

三重分集的天线一般可排成等边三角形，如图 3a，使得任何两付天线都不在同一入射波的波面上 (D_1 、 D_2 和 W_1 、 W_2 代表电波传播方向和波面)。二重分集的排列如图 3b，要求的条件和三重分集相同。

分集接收天线的程式，一般采用单菱形或鱼骨形。最好用同一种程式。不同程式的天线也可以用，但它们的性能（方向系数、方向、频带范围等）要近似。否则效果不好。一组分集天线，如果需要，可以供给几组分集收音机使用，但工作电路的方向、距离需要比较接近，且最好能加装天线共用器。

为了减少馈线的长度以降低损耗，收音机房应尽可能设置在天线组的中心，如图 3 的位置。

在由地位限制的场所，空间分集无法设置时，可以采用极化分集制。极化分集制一般只用双重。天线可以用笼形偶极子组成两组同相天线阵，彼此互相垂直如图 4。两组天线张挂在

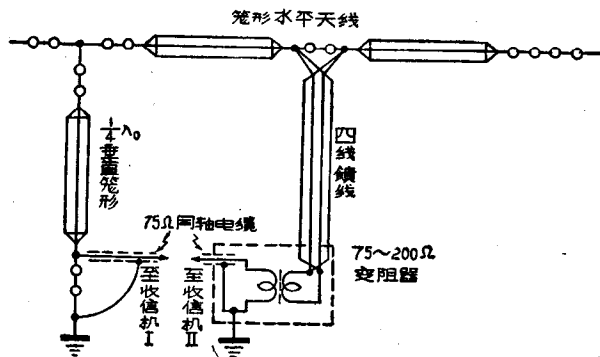


图 4 极化分集制天线张挂示意图

同一对木杆上，也可分开张挂，可看场地情况和天线单元的长度决定。

极化分集制的效果比空间分集制要差，它除了分集作用不理想外，垂直组的天线在装置上也比较困难。在人为噪声大的地区，垂直天线检拾得的噪音很高。为了减少噪音干扰，垂直天线离开地面必须有相当距离。

頻率分集制由于分集的对象是两个或多个的不同頻率的同一信号，因此只需要一付天綫。它是分集制中最简单的一种程式。一般在收信端不需要特別的装置。例如早期短波通信常常把启閉式电报的載波加以調幅或者調相以得到較寬的信号頻譜来减少衰落影响，就是頻率分集一种的方式。頻率分集制的信号頻譜很不节约，一般只作为某些調制方式的副产品（例如移频电报本身就含有頻率分集作用），和空間分集制混合使用，单独采用的极少。

上面是短波收信中一些比較常用的分集制式。在超短波散射通信制中还有其他的分集制式，例如角度分集等，因不合于短波体系的使用此处从略。

短波分集式收信，在长距离干綫电路中的得益是非常巨大的。一般通信情况下，三重分集的无綫电话收信机約比不分集的同样设备的电路效果好20分貝左右；二重空間分集的移频电报約比不分集的同样设备好12分貝，这相当于把对方的发信功率增加100倍和20倍。

分集重数增加对减小衰落影响的关系也可以用简单的数字表明。例如一个骰子有6面，任意擲下，如果擲得次数很多我們統計一下就可以看出，“1”点到“6”点出現的机会都是 $\frac{1}{6}$ ，这 $\frac{1}{6}$ 在統計数学上称为擲出某一色点的“概率”。如果我們知道出現某一色点例如“6”的概率是 $\frac{1}{6}$ ，那么不出現“6”的概率就是 $1 - \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$ 〔註〕。如果同时擲两顆骰子两顆中任一顆出現“6”的可能性就大得多，也就是不出現的可能性必然是 $\left(1 - \frac{1}{6}\right)$

〔註〕 概率的最大数值是1也就是事件出現的可能是100%，因此某件事情不出現的概率必然是 $(1 - \text{出現概率})$ 。