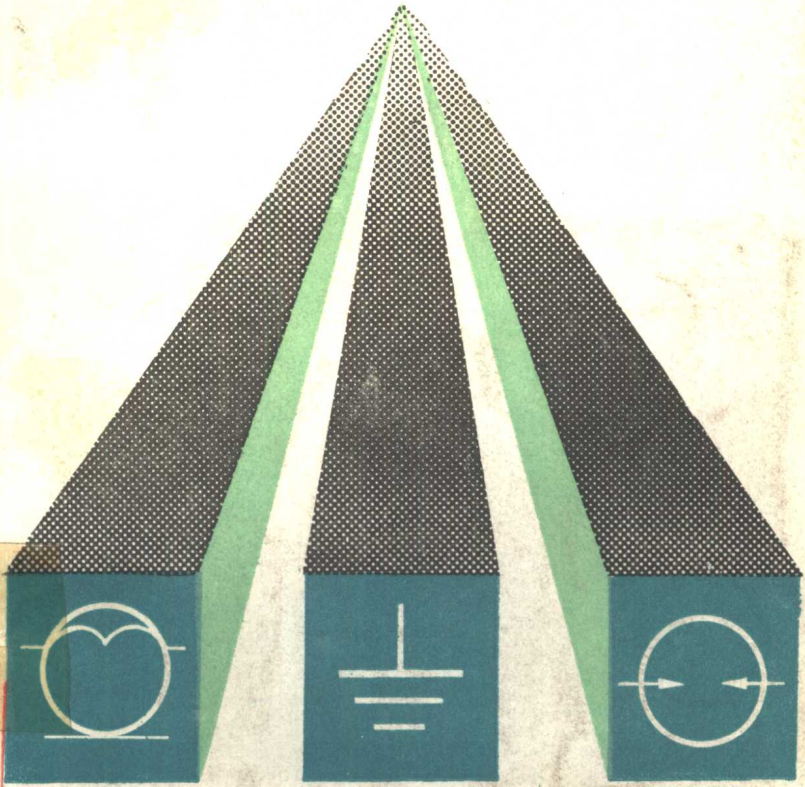
通信防雷技术

林秋望 编著



中国通信学会通信科普读物研究会主编

通信防雷技术

林秋望 编著

方 立 审

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书通过对雷击通信设备的理论与一些试验数据的介绍，讲解了通信设备的防雷保护技术。全书分八章，大体可分三个部分：一、有关雷电的知识；二、各种通信设备的防雷技术；三、接地装置与雷击模拟试验。本书理论比较浅显，且有实践基础，又引用了 *CCITT* 一些资料，因而比较实用。

本书适合于从事通信设计与维护工作的技术人员阅读参考。

通 信 防 雷 技 术

林 秋 望 编著

方 立 审

责任编辑：陈 涛

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各 地 新 华 书 店 经 售

开本：787×1092 1/32　　1985年11月 第 一 版
印张：6 20/32 页数：106　　1985年11月河北第一次印刷
字数：149 千字　　印数：1—4,000 册

统一书号：15045·总3135-普803

定价：1.30 元

前　言

通信科学技术普及读物的编辑出版方针是面向生产、面向群众、面向基层。它不仅包括知识性的图书，而且以实用性的图书为重点，同时也出一些介绍新技术的读物。

通信科普读物的主要读者对象是从事通信工作的干部、工人以及广大关心通信事业的读者。根据他们的特点和需要，在内容和选材上力求密切联系通信科研、生产、使用、维护和管理上的需要；在叙述上力求通俗易懂、概念清楚、结合实际、生动活泼，以帮助读者学习钻研通信科学技术，为培养一代新人、提高全民族的科学文化水平作出贡献。

本书是由广东省通信学会推荐，广东省邮电科研所林秋望同志编写的，具有通俗易懂、理论联系实际的特点和较多的实用内容。

由于我们缺乏经验，难免存在不足之处，欢迎广大读者提出意见和建议。

中国通信学会科普读物研究会

序

通信防雷是研究和解决通信线路设备防雷击、提高运行可靠性的一门技术。本书是作者根据18年来在研究工作中的心得和体会，并整理了本人历年在有关杂志上发表的文章和讲习班的讲稿内容编写而成的。本书着重解释物理概念，避开数学推导和抽象的论述，力求使书中内容通俗易懂和实用。

本书内容大体分三方面，即雷电基本知识、通信线路和设备的防雷技术、接地和模拟试验。在关于线路和设备防雷技术中，用了较大篇幅介绍了运行经验和实用例子，其中有些是CCITT有关建议所推荐的，目的是使读者能加以掌握和运用。

方立同志详细审阅了书稿，提出很多宝贵意见。本书有的内容是本人和广东省邮电科学研究所的同事的共同研究成果。有关明线雷害，分级保护及数字化通信设备防雷中的一些实例，引用了韩云青、谭然教、徐志仁、余健泉同志的文章内容，在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，错误在所难免，欢迎批评指正。

林秋望

一九八四年一月

于广州

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　　录

第一章　雷电的现象及性质……（ 1 ）
1.1　雷电是怎么一回事 ……（ 1 ）
1.2　雷云的成因 ……（ 2 ）
1.3　雷电日及雷电活动分布 ……（ 4 ）
1.4　雷击与地形地质的关系 ……（ 5 ）
1.5　雷击放电过程 ……（ 10 ）
1.6　雷电的主要参数 ……（ 13 ）
1.7　雷击的各种效应 ……（ 20 ）
1.8　加强防雷、确保通信 ……（ 23 ）
第二章　明线的雷害及防护……（ 27 ）
2.1　明线雷害的概况 ……（ 27 ）
2.2　明线上的雷电压和雷电流 ……（ 27 ）
2.3　雷击导线 ……（ 31 ）
2.4　雷击隔电子 ……（ 33 ）
2.5　电杆被击 ……（ 35 ）
2.6　明线的防雷 ……（ 37 ）
2.7　雷击次数的预期 ……（ 41 ）
第三章　电缆的雷害及防护……（ 42 ）
3.1　概述 ……（ 42 ）
3.2　雷击电缆途径 ……（ 44 ）
3.3　电缆的雷害现象和机理 ……（ 49 ）
3.4　从路由的选择上防雷 ……（ 54 ）

3.5 防雷措施……（57）
3.6 防雷电缆……（68）
3.7 塑料电缆的防雷……（72）
3.8 防雷技术上的概率计算……（74）
第四章 进局保护……（77）
4.1 进局保护在防雷上的作用……（77）
4.2 分级保护……（79）
4.3 架空地线……（83）
4.4 保安器……（84）
4.5 终端杆保护及其存在问题……（94）
4.6 进局电缆对局内设备的保护作用……（99）
4.7 其它保护装置……（102）
第五章 通信设备的防雷……（105）
5.1 概述……（105）
5.2 入局的雷电冲击参数……（106）
5.3 纵向冲击和横向冲击……（112）
5.4 设备的雷击故障……（114）
5.5 设备的耐压水平……（118）
5.6 电路设计及附加保护……（120）
5.7 稳压二极管和开关二极管……（123）
5.8 压敏电阻……（125）
5.9 阀型避雷器……（128）
5.10 载波机中附加保护的典型设置……（129）
5.11 典型保护电路……（134）
5.12 数字化通信设备的防雷……（142）
第六章 局站防雷……（146）
6.1 概述……（146）

6.2 直击雷的防护 ……（147）
6.3 电位的均衡 ……（152）
6.4 站内布线 ……（154）
6.5 电源进线的保护 ……（156）
6.6 天线防雷 ……（158）
6.7 微波站防雷中的其它问题 ……（161）
6.8 局站接地系统的互连 ……（164）
第七章 接地装置……（169）
7.1 接地装置的物理概念 ……（169）
7.2 接地电极的种类 ……（173）
7.3 利用系数 ……（177）
7.4 多极接地装置 ……（178）
7.5 接地体的冲击阻抗 ……（180）
7.6 用人工方法降低接地电阻 ……（181）
7.7 外引接地体 ……（183）
7.8 土壤电阻率的测量 ……（184）
7.9 接地电阻的测量 ……（188）
第八章 雷击模拟试验……（192）
8.1 模拟试验在防雷研究中的地位 ……（192）
8.2 冲击电压发生器 ……（195）
8.3 冲击电流发生器 ……（197）
8.4 测试技术 ……（199）
8.5 试验标准 ……（201）
主要参考文献……（203）

第一章　雷电的现象及性质

1.1　雷电是怎么一回事

雷电是空中带有电荷的云块放电引起的自然现象。由于自然界某些环境条件的影响，会在空中积聚起乌黑色的、带有电荷的云块，称为雷云。雷云有的带正电荷，但多数带负电荷。当雷云所带电荷使空中的电场强度达到 25～30 千伏/厘米时，开始引起空气中分子的电离，最后发展至击穿空气的绝缘，正负电荷发生放电而中和，成了人们日常所见的雷电。

雷电放电主要有两类。一类放电是在云中进行的，叫做云间放电。其特点是云中积聚的电荷较少，不能发生具有巨型电火花的所谓线状放电，仅在云层上部边缘呈现若隐若现的闪光，同时伴着较微弱的声响（或听不到声音）。大气中的雷电多属这类放电。

另一类是雷云积聚大量电荷，通过击穿云块和大地之间的空气绝缘，把电荷泄放入地，称为对地雷击或落地雷，表现为耀眼的线状放电。它的光道呈有分支且曲折的线形，长达二、三公里甚至数公里，放电过程中，伴有轰隆隆的雷声。这种雷击，有的放电一次之后，还沿着原通道由第二以至其它的电荷中心重复放电几次，成为多重雷击。

除了上述的雷电放电形式外，还有发光形状类似球状能在空中滚动的球状雷电，和放电通道象一条发光虚线的链状闪电等。本书主要讨论落地雷击，因为它能对通信造成很大影响，防雷措施和装置，也都是针对它而采取的。

1.2 雷云的成因

自然界为什么会有雷电产生呢？为了回答这个问题，让我们先从雷云的形成谈起。

人们都知道雷电发生之前，天空中一定有乌黑色的巨大云块，这便是前面提到的雷云。那么，雷云是从哪里来的呢？据研究，它既可由垂直上升的不稳定气流所生成，也可由水平移动的冷暖气团交锋而形成。

垂直上升的不稳定气流，常发生在夏季闷热无风和日晒强烈的时候。日晒使地表升温，并把贴近地面的空气加热。受热升温的空气，带着近乎饱和的水蒸气上升，周围冷空气紧接着补充过来。新补充来的冷空气又被加热，也同样带着水蒸气上升。这种现象不断重复下去，就会生成连续上升的垂直气流，如图1.1(*a*)所示。我们知道，离地面的高度每增加1千米，气压约降低12%，温度下降6～10°C。因此，上述的气流在上升过程中，体积将逐渐膨胀，温度也不断下降。由于大气中水蒸气达到饱和所需的水含量是随着温度的降低而减少的，因此，气流上升至一定高度后，水蒸气中超过饱和量的部分便开始凝成水珠，最后又凝结成冰晶。空中大量冰晶的聚集，就成为地面上所看到的大块积云。假如潮湿的不稳定上升气流继续存在，云块就会越积越厚，终于成了巨大的、不透光、且带着电荷的乌黑色云块，即雷云。由这种雷云形成的雷电称为热雷电。

垂直上升的不稳定气流的形成，有些同地形有密切的关系。例如当海风把潮湿空气吹向山坡时，靠着山势作用，迫使湿热气流升高。又如朝东南的向阳山坡，往往吸收较多的太阳辐射热量，斜坡又具有象烟囱一样的“抽风”作用，造成贴近

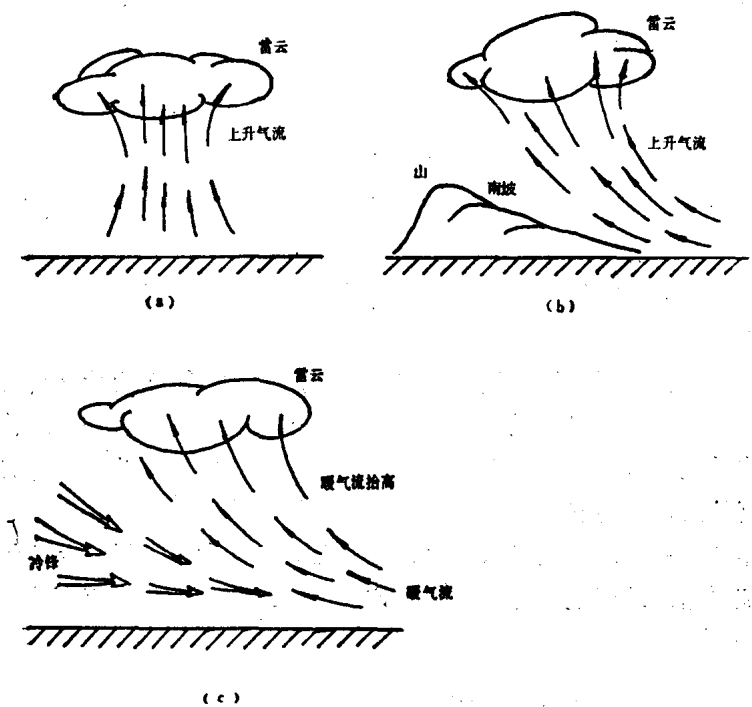


图 1.1 雷云起因

山坡表面受到加热的空气向上急升，成为持续的气流，如图1.1(b)所示。人们把由这种上升气流所产生的雷电叫地形雷或山地雷。

不管是热雷电还是地形雷，它们均有着共同的特点：多是午后发生在只有几公里至几十公里的范围内，持续仅几十分钟至一、二小时，强烈的放电较少。

图 1.1(c) 示出通过水平移动的冷暖气团交锋而形成雷云的另一种机理。当冷暖气团交锋在一起的时候，冷气团便把比重

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

较轻的暖气团抬升，接着便发生了类似前述不稳定气流上升直至产生雷云的过程，最后也出现巨大的乌云并演变为雷暴。人们根据这种雷暴系来源于冷暖气团交锋的特点，称它为锋面雷。锋面雷每年初春至秋末期间都可发生，但以夏季最多。

冷气团来势猛烈，锋面发展极快，覆盖区域大，可在宽数十公里、长数百公里的带形地区上空迅速移动，时速达五、六十甚至上百公里，因此锋面雷暴一般较为强烈，尤其以图 1.1（c）示出的冷气团侵入暖气团区域形成的冷锋雷暴更甚，破坏性最大。

雷云的形成机理虽然研究了多年，但对雷云为什么会带电，至今却仍然众说纷纭，没有定论。有人把雷云的带电，看成是上升气流与周围空气摩擦及冰晶相互间碰撞的结果，有的则认为雷云的起电与宇宙线及紫外线有关等等。尽管说法很多争论很大，但生成雷云的最主要条件是湿和热，以及上升气流对雷电的产生起着重要作用这些理论，却是为大家所公认的。

1.3 雷电日及雷电活动分布

由于雷云的形成与环境条件有密切关系，而在地球上的各个地区具有不同的环境条件，各个地区，雷电活动的情况是不完全相同的，甚至差别很大。为了比较不同地区雷电活动的强弱和便于进行防雷的计算，人们认为应当用数量的概念去表征一个地区雷电活动强度，并找到了用雷电日度量雷电活动的方法。一个地区在一天内（习惯是从前一天下午七时至当天下午七时）如果听到雷声(不论其持续时间多长或放电次数多少)，就算作一个雷电日。一年中，有多少这样的雷电日，就是这一年的雷电日数。取某地区若干年的雷电日数的平均值，得到该

地区的年平均雷电日数。这个年平均雷电日数可以把该地区雷电活动的强弱程度表示出来。如果把计算的时间从日缩短为小时，则在某一小时内听到雷声（不论放电次数多少）定为一雷电小时，然后累计一年之中总的雷电小时数，继而统计年平均雷电小时数，同样可描述该地区雷电活动的强度。雷电小时数虽然较雷电日数更为精确，但统计工作要困难得多，因此它不像统计雷电日数那样得到普遍的应用。

经过较长时间的测量，现已获得地球上各个地方的年平均雷电日数值，其值低到0，高达230天（埃塞俄比亚的刚大隆）和220天（印尼的爪哇）。

地球上雷电活动的分布情况，总的来说，赤道附近雷电活动较为强烈，每年雷电日数约为100～150天，因为该地带一般具备形成雷云所必需的湿热气候。由赤道到两极，雷电活动逐渐减弱，热带地区约为75～100个雷电日；中纬度地区为30～50个雷电日；极圈附近仅几个雷电日；北极和南极地区，则未见有雷暴发生。

我国各地雷电活动大体上也符合上述随纬度增加而逐渐减弱的趋势。例如，地处我国南端的广东省，气候湿润炎热，年雷电日数占全国首位，达85天左右；长江以南地区约40～80天；长江以北为25～40天。西北是全国雷电活动较弱的地区，一般年平均雷电日数都在20天以下，其中新疆的且末为3.5，麻札为2.，青海的冷湖为2.3，格松则少至0.3。图1.2示全国各地年雷电日的大致分布。

1.4 雷击与地形地质的关系

上节仅从形成雷云所必需的湿热气候条件出发，介绍了雷电活动在地理上分布的一般规律。在长期实践中，人们观察到

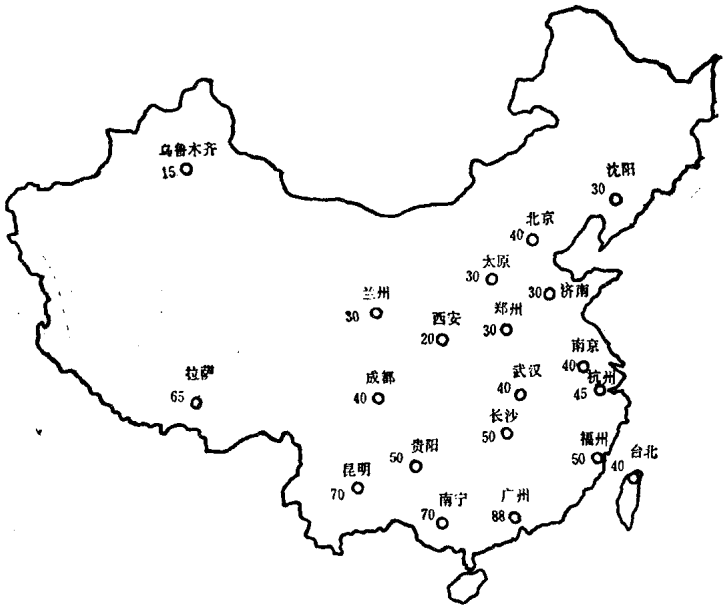


图 1.2 全国雷电日分布

在一个地区内，虽说年平均雷电日数是一样的，可是各个局部的点，雷击发生的频度却可能有很大的差异。有的重复受到雷击，有的却极少有雷击发生。有人曾统计过一水泥杆输电线路的雷击情况。这条线路长仅10公里，在18年时间内，被雷击过27次。其中有一段只不过 1 公里长，竟被击了17次之多。我国东北、广东、福建、吉林、浙江、北京等地运行的一些电力线，也都在不同程度上存在沿线雷击分布不均匀的情况。因此，落雷对目标是否有选择性，这个问题就引起了人们的注意。调查了大量雷击输电线事例并加以分析总结后发现，直击雷的落雷点，确实在一定程度上受到地形、地貌、地质等的影响。例如山中盆地、河湾地带和土壤电阻率明显不同的交界线

上，雷击频度显著增高。

在我们进行通信线路雷害调查中，也发现雷易击高地、突出物及低土壤电阻率等地方。象某地发生过9次雷击塑料电缆，全都发生于坡顶、路树近旁和低土壤电阻率的水库边沿。其中属于坡顶和经路树落雷再击至电缆（称反击雷——即通过首先被雷击中的物体的电位升高，引起对邻近物体的连击。）的雷击次数共7次，占78%，击在水库的有2次占22%。在广东省海南及湛江两地区的76例明线雷击事故中，发生在土壤电阻率低的山脚低洼潮湿地带占40%；发生在地势既高、土壤电阻率又低的地方占12%；落于高地的占21%。

在某些地方，雷击集中在高土壤电阻率范围内局部低电阻率的区域。如在某山地进行电缆雷害调查时，当地居民说，山脊未敷电缆前，当地雷电并不那么频繁和集中，但自从沿山脊埋入电缆后，雷电全被吸引到山脊上去。后经现场调查证实，在此土壤电阻率高达数千欧·米的山脊上，雷电确实重复击中了电缆及用于保护电缆的避雷针。把电缆埋在土壤电阻率高达数千欧·米的地方，实际上就象在高土壤电阻率范围内，存在低土壤电阻率的局部区域那样，常常吸引着落于附近的雷击。

为什么雷击具有如上所述的选择性？首先让我们从雷击产生的条件来看，既然雷云是由不稳定的上升气流发展起来的，不稳定气流的形成又常常受到地形地貌的影响，那么，象有足够湿度且温度较高的向阳坡或盆地，容易生成上升的气流，该地也就成为地形雷电或热雷电的多发地区，同周围地区相比雷击要频繁得多。再从雷击过程看，雷云形成后，必然选择阻抗最小的途径对地放电。在先导放电下降到离地面约50～100米即所谓定位高度后，有着较大电场强度的地面突出物、高土壤电阻率地区内的低土壤电阻率的局部区域、地下矿藏集中地、

矿泉水等地方，因常积聚较多的异号电荷，便成了最易受雷击中的目标，如图 1.3 所示。旷野中的孤立大树、高塔、屋尖和屋檐等极易遭到雷击，站在广阔平坦的大片水田中作业的农民易被雷击死，也就是这个道理。

应该指出，影响雷击点的因素往往很多，在这种情况下，分析雷将击中何处是很困难的。因为对于每种因素的影响程度，难以预先作出符合客观实际的估计，因而在实践中，会遇

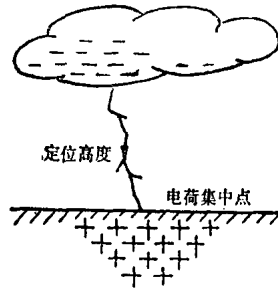


图 1.3　雷击选择性

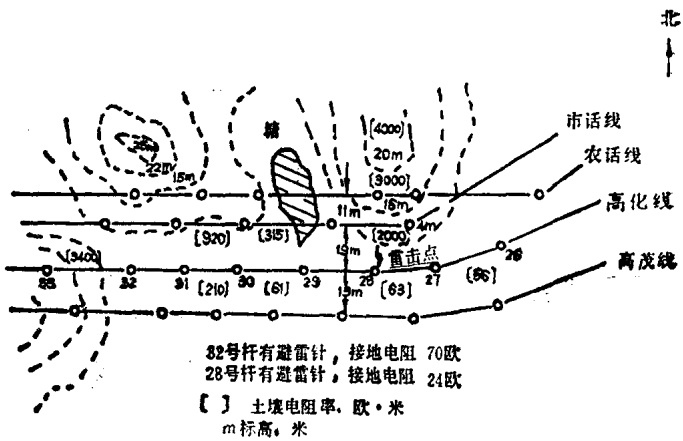


图 1.4　雷击明线线路一例

到一些表面看来似乎矛盾和无法理解的雷击现象。例如，图1.4的雷电直击明线线路例子就属这种情况。当时在被击杆线（高化线28号杆）北面35米处，有较被击杆线所在地面高出20米的山丘。在距雷击点19米和30米的斜坡处，又有比被击杆高4米的市话线和高13米的农话线。按一般常识，似乎雷应击中位于高地的杆线，但事实并非如此。为什么雷偏击中低处电杆呢？根据当时的现场调查，知道从丘顶至坡脚，土壤电阻率从4000欧·米逐渐降到300欧·米，被击杆周围的土壤电阻率仅40～60欧·米，为坡顶的百分之一。当然，除土壤电阻率的影响外，可能还有其它因素，导致那次雷击绕过了山丘上的高杆，落在低处的杆线上，把杆击裂1米多，并击破杆上隔电子、烧伤了铜线。这一例子，说明在当时条件下，土壤电阻率比起高度来说，成为更重要的因素。这些特殊例子，并不构成否定存在雷击选择性的理由，而更充分说明落雷的复杂性。由于诸多因素的影响，使得在有着几个可能的雷击目标的选择上，有时表现了极大的随机性。有关雷击选择性问题，尚有待今后不断总结经验，进行深入的研究。

下面列举调查中常见的易遭雷击的地方，供设计维护部门参考：

（1）丘陵中的局部坡顶，山区中的山脊地带；

（2）山中的长条形盘地，半岛形的山岭及起伏陡峭的地形边缘；

（3）暴露的河床，大片的河滩溪岸以及临江的山坡和山岭；

（4）地下水出口或露头之处，地下水沟道经过的地带，地表的大裂缝，地下有导电性的矿脉或含矿岩石；

（5）孤树及森林边缘；

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com