

实用铁路工程地质学

下 册

郑象銑 鮑鶴齡 董 奋 編著

人 民 鐵 道 出 版 社

目 录

第三篇 影响铁路建筑工程的各种特殊地质作用

第一章 冲 沟

§ 1 冲沟的一般概念	1
§ 2 冲沟的发育过程	2
§ 3 冲沟地带的路基稳定条件及选线原则	4
§ 4 冲沟地带的工程地质勘测	6
§ 5 冲沟的防护和加固措施	7

第二章 河 流 冲 刷

§ 1 河流的平面形态	7
§ 2 河流的横向环流	9
§ 3 有水工建筑物时河水的冲刷	10
§ 4 河流冲刷的工程地质勘测	12
§ 5 防止河流冲刷的工程措施	13

第三章 水 庫 坍 岸

§ 1 概述	15
§ 2 水庫边岸的再造	16
§ 3 坍岸的预测	17
§ 4 地下水壅水及黄土湿陷	24
§ 5 水庫的淤积	25
§ 6 水庫地区铁路工程地质勘测	26
§ 7 水庫地区铁路路基防护	26

第四章 泥 石 洪 流

§ 1 泥石流的一般特征及其分布	27
§ 2 泥石流的产生条件	27
§ 3 泥石流的分类	28
§ 4 泥石流的容重、流量及流速	30
§ 5 泥石流分布地区的铁路选线工作	32
§ 6 防止泥石流的工程措施	33
§ 7 泥石流地区的工程地质勘测	34

第五章 沼 澤

§ 1 沼泽的一般概念	35
§ 2 沼泽的成因及其类型	35
§ 3 沼泽的工程技术性质	37
§ 4 沼泽地区的铁路选线原则	41
§ 5 沼泽地区的路基设计原则	41

§ 6 沼泽地区的工程地质勘测	43
-----------------------	----

第六章 崩塌、剥落、岩堆

§ 1 崩塌	44
1 崩塌的性质	44
2 崩塌的形成条件	44
3 崩塌体的特点	46
4 崩塌块石运动速度和山坡坡度的关系	46
5 铁路通过崩塌地区的选线原则	46
6 崩塌的防治措施	47
7 崩塌地区的观测研究	49
§ 2 剥落	49
1 剥落的性质及特点	49
2 剥落产生的条件	49
3 剥落的防治办法	49
§ 3 岩堆	50
1 概述	50
2 岩堆的发展过程	50
3 岩堆的形成条件及影响因素	51
4 岩堆的形态	52
5 岩堆的组成成分	53
6 岩堆中地下水的活动	53
7 岩堆分布地区的选线工作	54
8 与岩堆斗争的措施	54
9 岩堆地区的工程地质勘测	56

第七章 滑 坡

§ 1 引言	57
§ 2 滑坡的外表特征	59
§ 3 滑坡稳定性的分析	61
§ 4 滑坡的分类	61
§ 5 形成滑坡的因素	63
§ 6 滑坡发育的阶段	66
§ 7 滑坡的工程地质勘测	67
§ 8 防治滑坡的措施	69

第八章 喀 斯 特

§ 1 喀斯特的一般概念	76
§ 2 喀斯特形成和发育因素	78
§ 3 喀斯特发育的基本规律及其区域特征	87
§ 4 喀斯特形态	90
§ 5 喀斯特地区的工程地质勘测	91
§ 6 喀斯特地区的铁路选线和工程措施	95

第九章 黃土陷穴

§ 1 黃土陷穴的基本概念	103
§ 2 黃土特征与黃土陷穴生成的关系	104
§ 3 黃土陷穴的形成及其分布規律	105
§ 4 黃土陷穴的形态	106
§ 5 黃土陷穴的工程地质勘测	107
§ 6 黃土陷穴的防治	111

第十章 盐 漬 土

§ 1 盐漬土的成因	112
§ 2 盐漬土中的易溶盐类	113
§ 3 盐漬土的分类	113
§ 4 盐漬土的工程地质分类	115
§ 5 盐漬土对土的物理力学性质的影响	115
§ 6 盐漬土路基的容許含盐量	117
§ 7 盐漬土地区鉄路工程地质調查	118
§ 8 盐漬土地区的鉄路选綫及路基設計原則	119

第十一章 飞 沙 沙 漠

§ 1 引述	119
§ 2 我国沙漠区的气候和沙漠的形成条件	121
§ 3 沙丘类型	122
§ 4 飞沙的运动特性	125
§ 5 飞沙沙漠地区鉄路工程地质勘测	129
§ 6 飞沙沙漠地区的选綫原則	131
§ 7 沙漠地区路基防护	131

第十二章 雪 崩

§ 1 雪崩的分布及其性质	133
§ 2 雪崩产生的原因	134
§ 3 雪崩的类型及其运动	136
§ 4 雪崩的移动速度及其冲击力	137
§ 5 雪崩地区的工程地质勘测	138
§ 6 雪崩地区的选綫工作	140
§ 7 防治雪崩的措施	140

第十三章 多 年 冻 土

§ 1 概說	142
§ 2 多年冻土的成因	143
§ 3 融冻层及多年冻土区的热动态	144
§ 4 冻土的水的动态	145
§ 5 冻土的物理力学性质	147
§ 6 多年冻土区内的地下水	149
§ 7 多年冻土区内的物理地质現象	150

§ 8 多年冻土区铁路工程地质勘测	151
§ 9 多年冻土区铁路建筑物的设计原则	152

第十四章 地震

§ 1 地震的分布及种类	154
§ 2 地震波的性质	157
§ 3 地震烈度	158
§ 4 地震区建筑条件之特征	158
§ 5 地震区的调查	162
§ 6 地震建筑场地烈度划分	163

第四篇 铁路工程地质勘测

引言	166
----	-----

第一章 铁路工程地质勘测的基本方法

§ 1 工程地质测绘	167
§ 2 工程地质勘探工作	168
§ 3 试验样品的采取及试验工作	175
§ 4 长期观测工作	187

第二章 新建铁路工程地质勘测

§ 1 草测阶段的工程地质勘测	192
§ 2 初测阶段的工程地质勘测	194
§ 3 定测阶段的工程地质勘测	198

第三章 复线及铁路改建工程地质勘测

§ 1 复线及铁路改建工程地质勘测的特点	206
§ 2 现有路基的百米标工程地质勘测	206
§ 3 道碴层的调查	207
§ 4 现有线路不稳定(病害)地段的工程地质勘测	208
§ 5 桥隧建筑物地段的工程地质勘测	209

第四章 地下铁道工程地质勘测

§ 1 地下铁道工程地质勘测特点	210
§ 2 设计意见书阶段的工程地质勘测	211
§ 3 初步设计阶段的工程地质勘测	211
§ 4 施工设计阶段的工程地质勘测	212
§ 5 地下铁道施工期间工程地质勘测资料的检查	213

第五章 铁路航空工程地质勘测

§ 1 在各铁路勘测设计阶段中航空工程地质勘测的应用及其工作程序	213
§ 2 航空目测及航空摄影	214
§ 3 航摄资料的初步内业判释及外业调绘工作	216
§ 4 直接判释特征和间接判释特征	218
§ 5 各种不良物理地质现象与第四纪沉积的判释特征	219

第三篇 影响铁路建筑工程的各种特殊地质作用

第一章 冲 沟

§ 1 冲沟的一般概念

在土质疏松而易于崩解的地区，由于暴雨或骤然融雪产生的间歇急流的冲蚀，造成许多大小不同的具有陡壁的V形河谷，一般称为冲谷。

我国冲沟常发生于华北的黄土地区和华南的风化砂页岩地区。在黄土或风化砂页岩构成的天然斜坡上，冲沟的沟顶通常是陡峻的崖壁，高度一般为1—20米。在黄土地带最高的冲沟崖壁也有达到百米以上的。新生的(发展的)冲沟，沿岸谷坡上几乎不生长植物，沟床纵坡陡而曲折，每当久雨或暴雨时，逕流沿谷岸凹地奔泻沟内，形成许多大小瀑布，强烈的割切沟壁。这些被冲蚀的土体，随着奔腾的洪水，造成强烈的流泥。它不但使原有冲沟不断增大和加深，逐渐缩小农田面积，而且能突然的冲毁沿沟的各项工程建筑，给人类带来不少灾害。

冲沟的形状和大小，取决于当地的斜坡汇水面积，斜坡上土层复盖的厚度与性质，气候条件，还决定于该处主要河流的侵蚀基准面；其他如自然的植被与人为的耕作，亦起一定作用。在甘肃东部枸邑、宁县、庆阳一带以及陕北靖边、吴旗、绥德等地，是冲沟最发育的地区，其数目之多与规模之大，为西北黄土地区所少见。当地冲沟一般深30—150米，宽20—30米，长1—10公里。两岸峭壁环立，土柱陷穴遍布。由于相向的向源侵蚀，平坦的黄土原，已被割切成如同蚕食桑叶样的冲沟网(图130)。



图 130 黄土层中典型的树枝状冲沟网，冲沟本身具有壁陡而底平的特点

§ 2 冲沟的发育过程

冲沟的发生，通常都是从斜坡下面开始的，然后逐渐往上发展，发生过程可以分为四个阶段（图 131，图 132）。

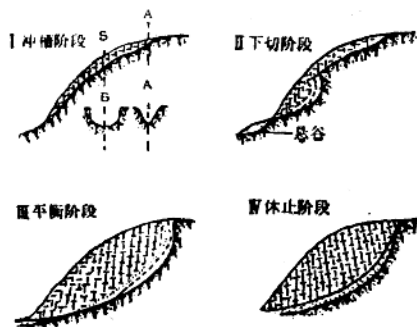


图 131 冲沟纵剖面的发育阶段
(按 C. G. 索博列夫)

冲沟的生成，最初是由于水洗刷斜坡疏松土体表层而成的冲槽（图 131—I，图 132—I）。所有能汇集水流的斜坡凹地，不论是车辙、田界、犁沟都是形成冲槽的基础。冲槽的横断面常呈 V 形（图 131 断面 A）或 U 形（图 131 断面 B）。

冲槽沿斜坡向下一直伸延到坡底，而冲蚀作用一般自下而上发展，即逐渐向上游发展切割其分水岭，这就是冲沟的向源切割阶段（图 131—II，图 132—II）。在黄土类土中，这个阶段都开始得很快。黄土中发生次生冲沟（即支沟）时，直接

从此阶段开始。

在冲沟切入斜坡之前，其顶部即形成高为 1—2 米，有时为 10 米的裂壁（跌水）。随着冲沟顶部的切割，即冲沟的伸展，由于补给冲沟的汇水面积的增大而逐渐下切其底部，加深了冲沟。冲沟的扩大主要是流入冲沟的水流对近于直立的沟壁冲刷的结果。冲沟口常常悬于谷底之上，水流所携带的松散物质在冲沟口形成小型的冲积锥。冲沟的纵剖面在这个阶段尚为凸形，即距均衡剖面还远。由于冲沟沟岸土层的风化塌落，沟壁下部逐渐变缓，但上部仍很陡峭。

冲沟底部的冲蚀作用，终于使得冲沟纵剖面近于均衡剖面的外形。下段沟底被冲沟的冲积物复盖。在沟口形成冲积锥。冲沟中段将呈 U 形断面，宽度比上段要大。此时冲沟即进入发展的第三阶段（图 131—III，图 132—III）。

最后，当冲沟的纵剖面逐渐达到均衡剖面时，便进入到第四阶段，即冲沟生成作用逐渐休止的阶段（图 131—IV）。由于剥落作用及冲沟中坡积物的逐渐增多而使斜坡变缓。曲流加宽沟底，并冲刷冲沟和斜坡之两侧，而引起局部的滑坡。如果冲沟切穿含水层，则冲沟即将含水层中的水排出成为经常水流，从而降低潜水面，改变区域水文地质条件，使潜蚀作用

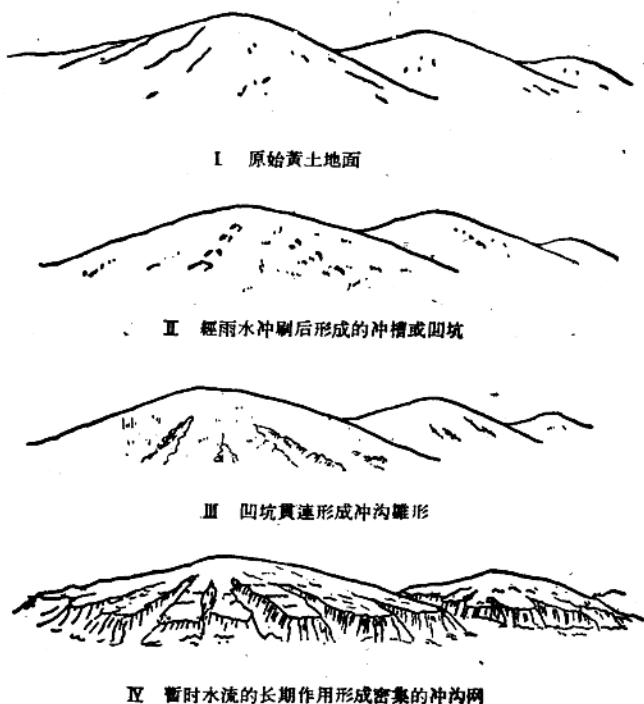


图 132 黄土冲沟的形成过程示意图

有助于斜坡的变平。

在斜坡稳定的地方，发育着标准的成条带状分布的冲沟，植物即开始成长，在此阶段的冲沟就叫做坳沟（参见图 130）。

上述冲沟形成的过程属于一般情况。但由于当地气候条件，地形及被冲沟切割的斜坡土层性质的不同，冲沟的构造（沟顶、沟底、沟坡及沟口）就可能会与上述情况有出入。在不同的地区内，冲沟的冲蚀作用就有其特殊的性质，而其发展的阶段和快慢也就各有不同了。

通常，冲沟的发展速度与沟床的下切成正比，亦即与逕流的动能成正比。动能的强弱又基于水流的质量及流速。其中控制质量的因素为水流的固体挟带物；影响流速的因素为河床坡度、河床的粗糙系数与水力半径等。发展着的冲沟，沟床纵坡常常大于临界冲刷流速的极限坡，使逕流产生足以发生冲刷的能量，致使沟床不断的发生下切作用与侧蚀作用，从而不断扩大冲沟的断面与流域。例如，甘肃宁县贺家原一带的冲沟沟岸，可以看到由于下切作用而产生的巨大滑坡，范围不下 20 万平方米。又如宁县九龙川南岸许多曲流地段，由于侧蚀作用而产生大小不同的坍塌，使沟谷日见加宽。接近均衡剖面的冲沟，有时虽然坡岸呈稳定状态，沟床的坡度亦很平缓，甚至沟岸植物生长良好，尽管这样，还不能肯定它已真正趋于成熟的休止阶段。这是由于冲沟的发育基本上决定于该处主要河流的侵蚀基准面，因此只要冲沟的下游重行下切，原有的均衡剖面就将遭到破坏，冲沟就会复活和继续扩大。甘肃宁县的八大沟，原有沟床的纵坡已达到 2—5%，两岸均已生长直径约 10—30 厘米的杨树，且谷底还有宽约 5—20 米的耕种地。但是由于马龙河的下切，沟口白垩纪砂岩及页岩层构成的沟床，因受急流的冲刷而后退，结果引起了八大沟下游沟床下切的复活，一次大雨就冲毁了沟岸的耕地及大部份杨树。

在我国黄土地带，伴随冲沟发育而产生的主要不良物理地质现象有陷穴、滑坡、崩塌、泥石流和沉陷等。

陷穴是冲沟发展的先兆，是黄土冲沟地带的地貌特征之一（详见本篇第九章）。

滑坡是由于冲沟与沟谷强烈下切而造成的，特别当斜坡含水层很高时，发育更为普遍。如甘肃宁县九龙川南坡，冲沟两侧就有很多典型的大滑坡，有些滑坡由于堵塞了沟流，不是因冲刷复活，就是造成天生桥。由此可见滑坡是冲沟发展的必然现象。

黄土冲沟岸的崩塌，常常是突然发生的。由于悬崖高度的限制，范围一般很小。崩塌的方式一般分为倒塌和滑塌两种。倒塌是由于悬崖上的垂直节理或裂缝直达软弱层（即倒塌体的根部，一般接近沟谷的水平线），当较弱层的外侧突然浸水或长期侵蚀而形成凹陷时，土体由于偏心荷重而发生倒塌，

常如墙倾倒一样。土体愈高，影响范围愈大。有时大量的倒塌，能将沟谷堵塞形成池沼，使上游继续发生坍岸（图 133—I）。滑塌是土体沿节理面或者裂隙急剧的下坠现象，有时呈零星的墜落。大量的滑塌影响范围与后果，有如倒塌一样（图 133—II）。

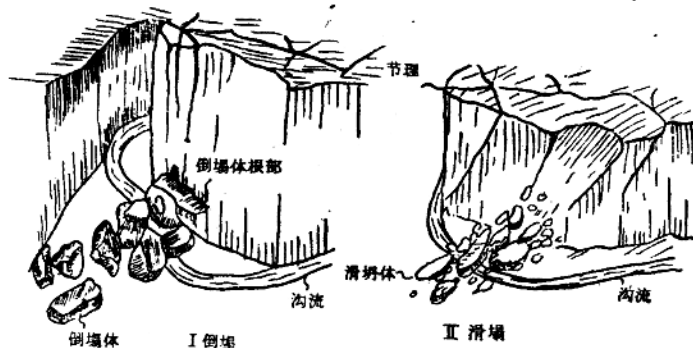


图 133 黄土沟岸的崩塌

流泥也是冲沟发生的一般现象，它是形成冲沟的有力搬运者。冲沟发展的速度，取决于搬运之快慢。如靖边红柳河石窑沟的支沟黄草茅沟，平均每年搬运土量约一千立方米，而冲沟的伸展每年平均约3米。由此可见，流泥对冲沟的发展，关系甚为密切。

我们通常可以根据下列公式求出被冲走的土体体积：

$$V = \frac{l}{2n} [(a_1 + b_1)h_1 + (a_2 + b_2)h_2 + \cdots + (a_n + b_n)h_n] \quad (146)$$

式中 n ——测量的断面数；

a 和 b ——冲沟的上下宽度（米）；

h ——冲沟深度（米）；

l ——冲沟长度（米）。

沉陷常发生在积水沟旁或因水位上升而产生。它的特点是岸边土体垂直降落，如阶梯状，这种垂直位移，基本上属于大孔土的压缩。沉陷之幅度与范围主要取决于土的物理性质及水的影响高度与范围。一般在冲沟所见者，约为1—5米宽，垂直下降约0.2—1米。

冲沟的发生与发展，常给国民经济带来的巨大损失，集中表现在下列几个方面：

1. 冲沟的成长缩小了耕地面积；

2. 大量的冲沟洪积物常常淤积耕地和牧场；

3. 冲沟的发展，强烈地切割地形，给修建铁路、公路造成很大困难。例如，冲沟的形成，使三门峡铁路支线工程大为复杂化。在全长17公里的范围内，为了要跨过冲沟必须建筑六座大小不等的桥梁和数座隧道。

§ 3 冲沟地带的路基稳定条件及选线原则

由于冲沟的发展速度惊人，故路基的稳定条件就不同于一般河谷及沟谷地带。正由于冲沟的不稳定性，无论铁路引线的方向如何，只要接近冲沟地区，路基就会受到或大或小的威胁。兹列举线路通过黄土冲沟的三种主要情况，分别说明冲沟地带的路基稳定条件和选线原则。

1. 跨越冲沟的线路：横穿冲沟的线路路基的稳定条件，较之沿冲沟岸的线路要好得多。假若冲沟深在50米以下而又没有较严重的不良地质现象，无论在稳定条件和经济方面都是比较合适的。然而实际上往往没有这样理想的条件。常见冲沟不但深度远远超过上述数字，而且工程地质条件也很复杂的。遇有这种情况，就不能不考虑其他方案或甚至于放弃整个方案。象甘肃宁县深达100—150米的冲沟，两端都是宽广的平原，如果线路要横穿这个沟谷，根据目前的技术条件，不管在设计 and 施工方面，都还存在着一定的問題。同时，土石方数量估计每公里要有25,000方，这项建筑费足足可以修建20米的隧道。假如将基底及陷穴处理与地下水及地表水处理包括在内，则建筑费就更可观了。

2. 沿冲沟岸的线路：冲沟的断面常常是V字形的，沟底窄而谷坡陡，而且沿岸还有许多大小支沟。这些支沟常常是处在正在发展的阶段。陷穴、天生桥、滑坡、崩坍现象，几乎普遍的分布在冲沟的岸坡或沟底。沿这种沟岸修筑路基，只有当沟谷总深小于50米时才有可能，不然建筑费用是很可观的。因为，线路常需要采取隧道和高桥，而且有时隧道长得象地下铁道一样。

兹将沿冲沟岸的线路限制谷深在50米以下的理由（当然这一数字并不是绝对的，假如地形、地质条件好，也可以大一些）说明如下：

(1) 在黄土地区，在一般情况下挖方边坡最高为40米左右，再高了不但不经济，处理大量土方也较复杂，而且稳定性也将受到影响，特别是在自然坡倾向线路的条件下最为不利。因为冲沟两岸水流直接流入冲沟，沟岸上形成各种不良物理地质现象。

(2) 一般冲沟是曲折的，线路通过时有的地方总得要作填方。在填方高度大于10米、沟谷又很窄的地方，就很难设计建筑物。因为大多数冲沟壁是很陡的，有些甚至近于垂直，稳定性很差。

(3) 当冲沟岸很高时，处理陷穴、崩塌、泥流、滑坡工程投资大，技术复杂。

(4) 线路跨越大小冲沟，若线路位置太高，势必增高桥孔，不但基底承载力受到限制，且沟底处理复杂。

3. 在冲沟顶部通过的线路：冲沟顶部常常是向源侵蚀最活动的地带。根据甘肃西峰镇水土保持站的统计资料，黄土冲沟的向源侵蚀，每年平均约3—5米，而有些冲沟在一次大雨后，可前进25米左右，又如宁县老虎沟附近冲沟岸的古窑，根据与附近的现有窑洞作对比，该窑不过三、四百年的历史，但是由于冲沟的向源侵蚀，其残存的洞身却已离沟底将近百米了。昔时窑前场地，今已荡然无存。这就足以证明黄土冲沟发展之速度是异于一般的沟谷的。

根据上述两例，就很容易理解通过冲沟顶的路基的稳定条件了。特别是线路位于具有很多支沟的陡崖的冲沟顶，即或能处理地表水，也很难预防陡崖的剥落与风蚀。由此可见，线路通过冲沟顶部，除非离冲沟有相当的距离，并且能够易于处理各方面的逕流，才有可能保证路基稳定（图134）。

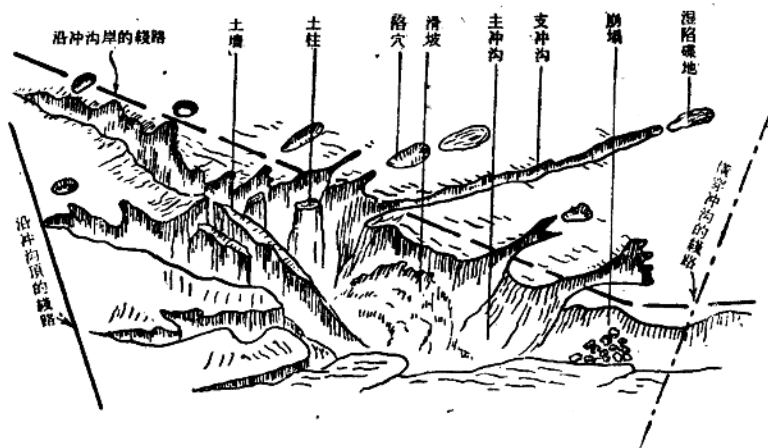


图 134 在黄土冲沟地带铁路选线示意图

综上所述，在黄土冲沟地区的路基，多半是不稳定的。外业选线时应特别详细地进行研究。如技术经济条件允许，而当地又有绕避冲沟的可能时（特别是不稳定的冲沟或深冲沟），当以绕避为宜。万一不能绕过，则应选择横越支沟或沟壁较稳定且发育成熟的冲沟地段通过。至于沿冲沟壁的线路，只有在为了降低线路坡度时，才局部采用，并且要选择稳定性可靠的地段通过。

例如西北某线某段跨越黄土冲沟的线路，如采用单机坡度就要跨过六条深在50米左右的大冲沟，如用双机坡度就只要跨过三条冲沟，经过周密的技术经济比较后，最后采用双机

坡度。又如另一綫路某段在初測时，发现原方案要跨过好几条深达百米左右的大冲沟，在技术上目前还没有可靠的克服措施，最后不得不重行选择新的繞避的現行方案。

§ 4 冲沟地帶的工程地質勘测

冲沟地帶的工程地質勘测，应詳細研究下列各点：

1. 土的特性和气候条件：冲沟的发展与土的类别和逕流大小有关。一般大孔土及細粒土，容易遭受破坏和搬运；而在多雨多雪地区，則易于产生冲蝕、溶蝕的周期性逕流。根据黄河水利委员会水土保持查勘队对綏德菲园沟黄土质土冲刷的研究，曾于1953年7月13日一次15分钟降雨16毫米，就引起表土5.35毫米深的冲刷。这就說明气候与土的特性，是决定冲沟发展的基本因素。同时气候条件对土的风化作用亦有密切的关系。

2. 調查地下水与地表水的作用：地下水能使下部土层产生潜蝕，如因冬季冰冻或土岸坍塌堵塞出水口，将引起地下水位上升，結果土层由于潜蝕面加大而产生沟岸土体沉陷，甚至引起大小滑坡。地表水除部分供給地下水与产生潜蝕作用外，还直接起着溶解和冲蝕作用。它常常溶解土中的盐类，分离粉粒，呈悬浮状态搬离原地，这种連續不断的作用，就能使冲沟日益扩大和加长。因此外业調查时应研究地下水的位置、水质和流量，水的来源，含水层的厚度及性质，以便决定它的侵蝕性及影响范围。对于地表水，要研究它的逕流系統，逕流流量的动能、水质、渗透能力等；同时还应考虑修建路基后的排水系統(地下及地面)，以及对整个綫路地帶农业的关系，特别是修建大小水庫地区的影响后果。

3. 侵蝕基准面的研究：侵蝕基准面就是侵蝕作用的极限。对一般冲沟來說，我們可以將附近主要河流的水面来作为当地冲沟的主要侵蝕基准面。假如冲沟底已发展到强度很高的基本岩层，不再遭受冲刷，或沟床下切的作用进行得很緩慢时，也可把它当作冲沟的侵蝕基准面。根据目前黄土冲沟地帶的沟床纵坡，一般很少有达到均衡坡度的，特别是冲沟上游和沟頂，纵坡均大于10%，因此土粒的搬运不可能停止，除非沟床和边坡是加固了的。E. A. 薩馬林提出的水流挟沙能力的公式如下：

$$E = 0.022 \left(\frac{V}{W} \right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{Ri} \quad (147)$$

式中 i ——水面坡度；

R ——水力半径，(米)；

W ——泥沙加权平均流速，(米/秒)；

V ——水流速度。

从上式就可以看出，河床纵坡和流速的增大，对沟床均衡坡度起到主要的破坏作用。也就是說不能认为陡的沟床就是已达到主要侵蝕基准面的稳定冲沟。至于岩石沟床也应该从岩性和其构造上来分析。如甘肅宁县的彦旺川、靖边的老虎腦刘家峁一带，有些冲沟底部，已达到基本岩层，由于岩质不坚或风化破碎，抗冻及抗冲刷能力都不强，因此就不能将它看成是很稳定的沟床。

4. 沟壁的稳定性的研究：冲沟的沟岸，由于水的破坏所产生的一系列陷穴、塌陷及滑坡等不良物理地質現象，常常会阻止綫路通过。因此我們对冲沟壁应进行詳細的調查，特别是对沿沟岸壁行經的綫路。还应研究冲沟壁(也就是冲沟的斜坡)，岩石节理的发育情况，悬崖高度，斜坡的陡度与复盖层的情况，現有陷穴、滑坡、崩塌的状态及其生因，植物的生长密度与冲刷情况等，同时并应考虑綫路通过处的路基是否安全和經濟。

5. 岩层的产状：第四紀黃土及黃土類土的沉積，不論其為水成、風成或風水交錯沉積，其產狀都是因地而異的，因為當沉積階段的古地形和外動力作用，就決定了其有不同的產狀。如鄂爾多斯地台的黃土沉積，根據觀測，各個沖溝的基底岩層並不是完全水平一致的，有些地方還夾有卵石砂粒、粘土等尖滅夾層，也有和侵蝕過的第三紀以前岩層成不整合接觸的，且接觸面具有一定的傾角，有些沉積層由於地理環境的改變，發生了形變。諸如此類，均應分別進行調查研究，以確定岩層的產狀對路基的穩定程度。

6. 地震：沖溝一般具有松散的坡積層及懸崖，地震很容易促使溝壁的傾倒或斜坡的滑動。故沖溝深度愈大，則破壞力愈嚴重。根據甘肅寧縣平子鎮 1920 年地震的情況，沿沖溝地帶的窑洞倒塌最多；又如九龍川、馬蓮河、涇河流域一帶的黃土山坡都有因地震引起滑坡的遺跡。

在進行沖溝的工程地質勘測時，最好能編制沖溝圖，並附以必要的地質斷面。該圖應包括沖溝頂、底、边坡的匯水面積及所有的大小支溝。並應用專門的圖例表示該處的沖刷作用是活動的，強烈發展的，處於休止階段的，或是完全停止了沖蝕作用的。

為制圖方便起見，沖溝的大小，可採用 A. C. 柯茲明科的五級分類法（根據沖走的土體體積，參見公式 147）：

沖槽	50 立米以下
小沖溝	50—200 立米
中沖溝	200—1000 立米
大沖溝	1000—6000 立米
巨沖溝	6000 立米以上

§ 5 沖溝的防護和加固措施

防止沖溝的發展主要是要正確處理排水問題，因此在沖溝地帶的路基應切實作好排水工作。根據黃河水利委員會水土保持觀測站的經驗，沖溝的防護和加固，應作好下面幾項工作。

1. 加固現有沖溝系統的溝床，減少水流流速，通常是用土簍、木、石建築堤堰跌水。
2. 沿沖溝頂山坡等高綫修築堵截水流的土堤和水溝，並加鋪砌。
3. 整平和加固裸露的沖溝边坡和山坡，以減少水流對坡面的沖刷。有時也可採用木桩柴排予以加固。
4. 防止陡崖上方水流切割溝岸或沖刷溝床。
5. 開展沖溝造林育草及改良耕作工作。

第二章 河流沖刷

在地形高差較大的地區進行鐵路選綫時，一般常選用河谷綫。因為在大多數情況下，河谷綫坡度適宜，地質條件較好，且經常可以避免過大的土石方數量。所以鐵路選綫必須常常考慮和河流有關的一些問題。從鐵路工程地質觀點來看，水流對於邊岸及河底的沖刷有特別意義。

§ 1 河流的平面形態

河流的水流作用包括兩方面：一方面是侵蝕作用，河流以加深河床及沖刷河岸兩側切出

河谷；另一方面是经过搬运后的沉积作用，是当河流动态发生变化后，侵蚀作用不能加深时发生的，这两种作用是同时进行的。

根据 H. A. 别列柳下斯基教授的理论，认为在一般正常情况下，河道水流处于动力平衡状态。即在一定的流速下，任何一个断面，水流的携运量（指在该断面时水流自河床底冲刷的及水中原有的悬浮物的全部携带能力）与自上游带下来的冲积物互相趋于平衡。如果携运量大于自上游水流带来的冲积物，则河床发生冲刷；反之，如上游带来的冲积物大于水流的携运量，则发生淤积。

河谷形态在平面上表现得十分复杂，而且经常变化。河流在平面上都是弯曲的。河谷在它自己的历史发展过程中，其外形的形成完全决定于构成谷坡的岩石的产状与成分。当河流通过软质岩层，或遇到障碍，都可能加强旁蚀作用而形成河床的弯曲，予附近建筑物以严重威胁（图135）。



图 135 由于黄土河岸遭受严重冲刷，附近居民点已被河水吞没大半

至于平原河流，当河床通过冲积层时，即使遇到不大的障碍，也会向旁侵蚀，河床由河谷的一岸转向另一岸，形成平缓弯转的河曲（或称蛇曲），在水流缓慢的平原河流的蛇曲特别复杂，而且经常改变（图136）。

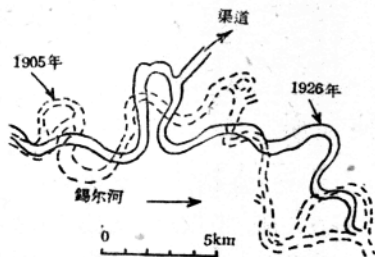


图 136 1905—1926年中亚锡尔河河槽在查尔-塔尔渠附近移动状况

初期的蛇曲，曲率不大，且增长缓慢，只是微微凸出，因为离心力的数值较小。随着曲流的增长，由于离心力的加大，弯曲度的发展也就愈大愈快。此时，弯曲向着下游移动。

河曲增长的速度有一个限度，随曲流的增长，河床随之加长，使河流的坡降和流速逐渐减小，旁蚀能力亦随之减弱，于是曲流增长速度开始变慢。

但并不是所有河流都有明显的河曲，许多河流往往是较平直但有許多分歧。分歧是一些大的平原河流的特征，如长江，黄河等。这些河流的主河床并没有幅度很大的河曲，而有許

多岛屿、河叉及分支，同时可在这些河支流上看到发育较好的蛇曲形态。

当河床形成河曲后，河岸的冲刷和淤积作用就表现得非常明显，主流都是向着河曲的凹岸，凹岸成了被冲刷的地区，而凸岸则为沙滩（图 138）。

河水的主流方向是经常随着水位的变化而改变的，这就影响到冲刷和堆积情况的改变。

随着汛期的到来，河水的运动复杂化，此时河水向两岸泛滥主流方向经常改变。当大量河水涌向河岸的时候，河水的运动就集中在岸线附近，河岸突出的地方阻力最大，成为河岸冲刷激烈的地方。

应当理解，在自然条件下，每经过一次洪水，河岸形态都要发生一些变化。

河谷的侧移是河谷地质发展过程中的一个重要现象。在河的两岸所见到的侧向侵蚀并不总是大小一致的。这种移动在现代大部分地段里，于某一段时间内都可以观察出来。这种单向移动造成河谷构造的不对称性。一般用贝尔定律解释这个现象。根据这个定律，在北半球上，顺南北方向流动的河流冲刷右岸，而在南半球上冲刷左岸。这种现象的发生是由于地球在各个纬度上旋转速度不同。在赤道上的任何一点，由于地球自转的关系，自西向东的运动速度较大，到两极这个速度等于零。向赤道方向流动的河流就是从运动速度较低的区域转到运动速度较高的区域，所以在北半球上的河流就要冲刷右岸，而在南半球上的就要冲刷左岸。例如，我国泂江和嘉陵江是流向赤道的，则西岸较陡；而赣江和湘江是流向极地的，则东岸较陡。

E. Г. 卡楚金认为河岸的侧向侵蚀与新构造运动有一定关系，由于不久以前的升降运动，使河谷有了横向斜坡。在这种情况下，造成河流在河岸侵蚀和堆积的不对称性。上海到南京这一段长江就因为江北相对的逐渐隆起，使长江向南发生侧向侵蚀，形成对沪宁线路基直接的冲刷，迫使沪宁线栖霞山附近的一段改线。

§ 2 河流的横向环流

从河流的横断面上来看，天然水流都有横向环流，即河床中有两种横向水流：一种是上部水流，又称为面流，向河岸或河中心方向横流；另一种是与面流流向相反的底流，沿河床底部横流。底流和面流形成横向环流。由于底流和面流的作用，造成河流边岸和底部的冲刷和堆积。正确地解到底流和面流的水动力学规律，不仅能分析河流的地质作用，而且还可预测这种作用。必要时以适当的工程措施来改变水流作用。

苏联 A. И. 洛西耶夫斯基将水流的横向循环分做四个类型（图 137）。

在河床为直线的段落内，为主流线位于河流中央部分时，就产生向两侧的环流。这种环流因涨水或落水而不同。在落水期间，河流表面的水向中央集中，形成第 I 种类型的环流，在涨水期间，面流向两侧散开，形成第 II 种类型的环流。第 III 种类型环流发生在河曲处，由

特 征	I 类 沿河底分散	II 类 沿河底会合	III 类 (一侧的)	IV 类 (混合的)
环流示意				
河底水流 平面流向				
表面水流 平面流向				
河底冲刷 厚分布				
水流表面 横断面				

图 137 河流横向环流的类型

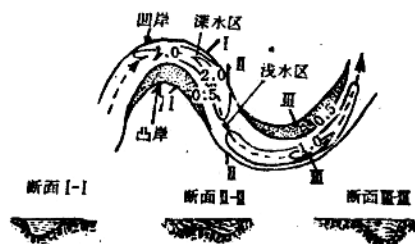


图 138 浅水区和深水区

于离心力以及地球偏轉力对水颗粒的作用，发生单向循环形的环流，在河曲处，主流綫由于水体的慣性力及速度的关系而朝向凹岸，水体本身亦因受离心力的作用，在凹岸形成了强烈下降水流（这种下降水流速度极大，乃是冲刷河岸的主要因素）它一直下降到河床底部，然后順着河底成为底流，向凸岸运动，它携带着从主流区冲激起来的土粒，由于运动逐渐减緩而把它們堆积在凸岸。所以，曲流的凹岸是被冲刷地区，水較深，而凸岸是堆积地区。第Ⅲ种类型出现在平直而有浅滩的河段上。

深水区 and 浅水区

任何一条河流的河床都由深水区 and 浅水区有規律的交替組成（图138）。

深水区都位于曲流的頂部，而浅水区則位于曲度較小、河床弯曲方向改变的地方。

在长而平直的大河中，有时沒有曲流，但其主流綫也是弯曲的，在凸起的部分形成深水区，而深水区之間分布着浅水区。这就是水文学上的法尔格第一定律。

由于深水区 and 浅水区的交替，从河床的纵剖面上看，在浅水区坡降变小，有时甚至与总坡降形成相反的方向，因此河床的纵剖面成为波状的（图139）。

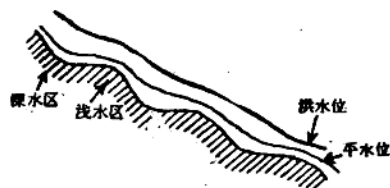


图 139 河床縱剖面图

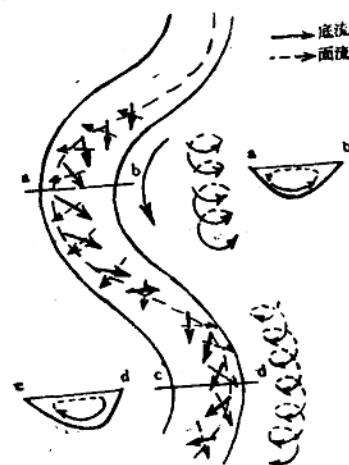


图 140 河中形成螺旋状横向环流示意图

从整个河流看来，無論是底流或者是面流都循着整个河流的总流向，并且成一斜交角而朝向河流的下方（图140）。这样便在河床中形成了一种螺旋状的横向环流。同时，在每一个弯曲处，环流都有自己的方向。如果在一个弯曲处，运动是逆时针方向的，那么在位于下游的下一个弯曲处，运动便将按相反的方向，即順时针方向环流，再往下便以此类推。

在两个深水区之間的地段中，主流綫逐渐从一岸轉向另一岸，相应地也发生了水的单向螺旋形环流向相反运动方向的交替。这种交替使該地段的面流发生不均匀的散流現象，在河床中央部分发生上升水流，形成第Ⅱ种类型的横向环流，結果給河床带来了許多冲积物，形成了浅水区。

綜上所述，深水区是河床最活动的地段，河流侵蝕作用差不多都局限在这些地段。

§ 3 有水工建筑物时河水的冲刷

当在水中有建筑物时，如桥墩台、岸边之挡土墙以及防水堤填等，河流断面起了变化，河水动态、冲刷的情况也就不同。河水因建筑物的存在而引起一般冲刷与局部冲刷。

一般冲刷

在桥址处水流断面被較窄的桥孔所約束，人为的縮小了流水面积，因此流速加大，破坏了原有的水流的动力平衡，这样所引起的桥下河床的冲刷称为一般冲刷。

桥孔下发生冲刷的情况，可能有下列情况：

1. 在决定桥孔时为了尽量使其缩短，把计算流速定的比天然平均流速为大。这样，破坏了原来河道的水流平衡状态。为了补偿水流携运量的不足，河道即发生向下冲刷，直至桥下水流截面增大到使桥下平均流速降到主河床中原来的数值时，河床水流回复到动力平衡状态，冲刷即行停止。

2. 筑有桥墩后引起两旁的回流，使桥墩前端处河床冲深，并可能引起河床局部变形。

3. 如果桥旁没有导流结构物，由于桥下截面上流速分布不均，可能引起桥孔两端部分发生较深的斜冲刷。

4. 在河滩部分长有草木或修建有人工加固建筑物，或河床某处为硬土坚石，则在桥孔计算中，这些地段将不会发生预期的冲刷，于是就导致主河床部分的过分冲深。

5. 最大冲刷发生的地点是在贴近桥孔下游附近约 $\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$ 桥孔长处。流水刚出桥孔，流速仍不均匀，水流继续被挤压，结果形成一个颈口，在此处流速增长到最大值，故对河床的冲刷作用也最大。

所以，桥墩台的存在，对桥位上下游河床引起的变化是相当复杂的。在勘测调查及设计时应慎重地注意到这些现象。

局部冲刷

当水流绕过桥墩或修建在水中的挡土墙等建筑物时，由于能量的改变在桥墩前缘处发生的冲刷，称局部冲刷。局部冲刷的结果常形成深坑，故又称淘刷。对建筑物基础的埋藏深度影响甚大。

当水流以平均流速涌向桥墩时，水流撞击桥墩的前缘，使得液体的质点压力提高，造成横向水流及沿桥墩前缘的下降水流。在被冲刷的河底平面上，下降水流形成涡流而直接冲刷河底，造成冲刷坑（图 141）。

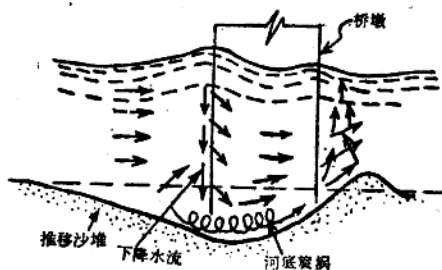


图 141 水流绕过桥墩示意图

由于冲刷坑的逐渐加深，下降水流的冲刷能力也就逐渐减弱，直至不能自坑中再带出土的颗粒为止。这时冲刷坑的最大深度以 h_B 表示之，计算时是从河底平面算起。

计算局部冲刷的公式一般都用雅罗斯拉夫柴夫经验公式或波尔达可夫经验公式。

雅罗斯拉夫柴夫公式为：

$$h_B = k_1 \cdot k_2 (\alpha + k_3) \frac{v_0^2}{g} - 0.3d \quad (148)$$

式中 v_0 ——涌向桥墩水流的水平平均流速；

k_1 ——决定于桥墩前端形式的系数，其数值可由有关书籍查得；

k_2 ——与桥墩宽度 b_1 及流速 v_0 有关的系数，可按下式求得：

$$\log k_2 = -0.283 \sqrt{\frac{v_0^2}{g b_1}} \quad (149)$$

α ——考虑流速沿垂线上分布不均匀系数；

k_3 ——与由分界面算起的水深 H 与桥墩计算宽度 b_1 有关的系数，可按下式求得：

$$\log k_3 = 0.17 - 0.35 \frac{H}{b_1} \quad (150)$$

d ——土粒计算直径，以厘米计，对于非粘性土，根据土颗粒分析，从最大粒径算起，

d 按重量不少于 15—20% 的最大粒径；对于粘性土，依据土的种类（粘土，重粘砂土，贫粘砂土及森林土）及孔隙比和干容重，从有关表中选用。

g ——重力加速度。

当河底土细的非粘性土，粒径在 0.5 毫米以下时，则上式中 $0.3d$ 这一项可以不计。所以对于卵石-砾石河床，决定颗粒的计算直径很重要。

确定 d 时一定要采用冲刷坑底标高处埋藏的土的粒径。为此目的，应当用挖探的方法逐层取土而按深度将各层的计算粒径求出。因为如采用钻孔常因套管太小，不可能被取出大的颗粒，如依据这种资料设计，就可能使局部冲刷数值偏高，从而造成浪费。

如果冲刷坑是位于一层颗粒较小的地层中，它上面的土层颗粒较粗，那么可以想象，在冲刷过程中上面的较大的颗粒会落到冲刷坑底来，所以计算冲刷时， d 应当采用上层者。

波尔达可夫计算桥墩局部冲刷的公式的理论是：冲刷的深度随正常流速与土不被冲刷流速的比值而增长。当深度增加时不冲刷流速也略为增长；同时冲刷深度与桥墩前缘形状有关，故波氏公式的最后形式是：

$$h_m = h \cdot P \cdot \left(\frac{v_1}{v_H} \right)^n \quad (151)$$

式中 h_m ——冲刷后最大水深（自设计水位算起）；

h ——冲刷前水深；

P ——采用的一般冲刷系数；

v_1 ——主槽天然平均流速；

v_H ——土的不移动流速；

n ——指数，与桥墩形状及水流斜交度有关，由实验求得，为 $\frac{1}{4}$ — $\frac{2}{3}$ 。

所谓土的不移动流速，也有称做容许无冲刷流速的，是指在这种流速下河床的土粒没有移动。所以容许无冲刷流速完全与土的颗粒大小有关，颗粒越小则容许无冲刷流速越小。其数值可参考有关书籍。

砂类土的容许无冲刷流速完全依土颗粒大小而定；而粘土类土，则依其颗粒大小、干容重(δ)及孔隙比(ϵ)而决定。

一般，按雅氏公式所得的冲刷深度比波氏公式的计算结果要大一点。

§ 4 河流冲刷的工程地质勘测

在河流冲刷地区进行工程地质勘测时，应特别注意下列三种情况：(1)水流的性质；(2)河岸或边坡脚受冲刷的情形；(3)建筑物下面及河底淤积、淘刷的情形。

水流的性质

在不同水位时，水流的主流有不同的位置，而对河床或岸边冲刷的情况亦不同。应当了解，在建筑地点起冲刷作用的是高水位、中水位还是普通水位。例如，有些地方，在低水位时受主流顶冲而在高水位时反而缓和，因而这个地方的防护就应当按着低水位的情况设计。

当线路施工后由于在上游的大量向河中棄碴或者上游发生了新的坍方、滑坡或泥石流等人为的或天然的作用，也可使局部河道发生变化。那么，勘测时应查明这种变化对水流的影响，今后是否会回复到故道来，回故道的过程是逐渐的还是迅速的。查明了这些，才能做出经济的设计方案。例如，宝成铁路 146 公里附近，原设计河岸保护，但施工后因上游棄碴使河道改变，暂时解除了被冲刷的情况，但该处水流很急，棄碴尺寸不大，主流可以很快的恢复