

山区公路 路基病害及防治

傅志五 编著

人民交通出版社

山区公路 路基病害及防治

楊世基 編著

人民交通出版社

本書較系統地介紹了目前山区公路常見的路基病害及其防治方法。

全書分三章，內容包括：山区公路路基病害的類型、特征、形成原因及其工程地質勘測方法；土石路堑边坡的特性及穩定路堑边坡數值的確定；各種路基病害的防治方法及防治构造物的設計、施工等。書中并有計算实例。

本書可供公路工程技術人員及有關院校師生參考。

山区公路路基病害及防治

楊世基 編著

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號

新华书店北京发行所发行 全国新华书店經售

人民交通出版社印刷厂印刷

*

1965年9月北京第一版 1965年9月北京第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印张：5 1/2

全書：115,000字 印数：1—2,450册

統一書号：15044·1505

定价(科六)：0.85元

目 录

前 言	2
第一章 山区公路路基病害的类型及其工程地质勘测	3
第一节 总述	3
第二节 坍塌 (包括堆塌)	3
第三节 崩塌 (包括落石、剥落)	10
第四节 滑坡	19
第五节 泥石流	39
第二章 山区公路路堑边坡	48
第一节 概述	48
第二节 石质路堑边坡	50
第三节 散性土质路堑边坡	57
第四节 粘性土质路堑边坡	62
第三章 山区公路路基病害的防治方法	64
第一节 路基病害防治概述	64
第二节 支挡建筑物	71
第三节 拦挡建筑物	120
第四节 减少坡面荷重	125
第五节 设置排水系统	128
第六节 坡面加固与防护	136
第七节 其他防治措施	145
附录 1 土壤天然容重、内摩擦角、粘聚力参考表	147
附录 2 地基的容许承压能力	150
附录 3 摩擦系数参考值	152
附录 4 岩石强度系数值表	154
附录 5 砂浆配合比	158
参考文献	160

前 言

解放后我国山区公路有了很大的发展，但是，山区普遍地存在着不良的物理地质现象，经常引起路基病害，严重地威胁着公路的稳定和安全。为了探索山区公路路基主要病害形成原因及防治方法，交通科学研究院于1958年至1960年曾在四川、湖南、云南、贵州、甘肃等省主要山区，对具有代表性的公路路基病害路段进行了调查研究，并总结了防治路基病害的措施与方法，对不同路基病害的形成条件与变化规律有了初步的认识。笔者根据调查所得的一些资料进行分析整理，并参考铁路上的经验，编成此册，以期对山区公路路基主要病害（坍塌、崩塌、滑坡、泥石流）的整治工作有所裨益。

由于目前公路技术指标较低，灵活性大，一般深挖路堑或高路堤很少，且通过斜坡地带较多（沿河傍山线、越岭线），因此，一般多为中小型路基病害。根据目前情况，公路路基病害应尽量采用廉价的简易的防治方法，本书即着重介绍这些方法。至于一些特殊严重病害的彻底解决，尚需作专门的深入调查研究。

限于水平，内容难免有不妥处，希读者指正。

楊世基 1963年7月

第一章 山区公路路基病害的类型及其工程地质勘测

第一节 总 述

通常所说的“坍方”，根据山区常见路基病害的形成条件与原因及其规模的大小等，分为坍塌、崩塌、滑坡、泥石流等四个类型。不同类型之间，常有过渡形式，这就要按其主要的特性来划分。任何一种路基病害，只要具备几个主要的形成条件就可以发生。当同一地点发生几种路基病害，则需考虑其相互间的影响，才能得到正确的判断。现将各类型的性质、特性及其对公路的危害性分述如下。

第二节 坍塌（包括堆塌）

一、坍塌

（一）特征

山坡堆积物在自重作用下，有时沿边坡产生不同规模的坍塌现象。发生坍塌时的运动速度较快，土石有滚动现象，土体扰动且相互位置改变，在运动结束后坍塌体基本稳定，无滑动面，亦无明显的软弱面。在坍塌发生前，有时边坡顶部会出现大小不等的裂缝。

（二）形成的条件及原因

1. 地形 边坡较陡，坡度一般为 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ，尤以 $40^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 最常见。

2.地质条件 一般为残积、坡积、冲积、洪积、冰碛等不同成因类型组成的堆积层，它的成分主要为砂粘土夹碎石、块石、大孤石的碎石类土壤，所夹石块粒径由数厘米至几米不等，石块含量较多，有时超过半数以上，而粘土质成分较少，一般具有散性土的性质。

3.影响因素

1)由于开挖路堑的边坡较陡，使边坡的支持力量减弱。

2)堆积物受到地表水及地下水作用的影响，使土壤的抗剪强度降低。

3)土壤受到冻结融化的反复作用，使边坡土体的稳定性降低。

4)风作用、地震作用、气温变化等对边坡稳定性的影响。

(三)对公路路基的危害性(附示例)

一般在沿河斜坡或山坡地带的挖方路基常发生坍塌现象。它对路基的危害程度依其规模大小而异。由于坍塌发生时具有冲击力，经常引起建筑物的变形、破坏路基、断绝交通，给养路工作增添不少工作量。

示例1 四川××路藏的坍塌

路段靠近山腰斜坡的溪谷地段，在公路回头线转弯处，山坡自然坡度在 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间，地表覆盖薄层植物土（厚40厘米左右）。其下为残积坡积层，系土夹碎石与少量大孤石，土质较松散，碎石成分有砂岩、页岩、石灰岩，其中以页岩成分居多。大孤石直径约1米，为灰至灰黑色的石灰岩。底部为页岩，节理发达，中等风化，在坍塌体的左右侧均有天然水沟。

此处公路以路堑通过，挖方深8米。在一次改地时，路基加宽，并加大弯道半径，施工中即发生坍塌，以后仍不断坍塌。坍塌范围宽30米，沿斜坡方向长35米。坍塌体均在残积坡积层中，仅左侧部分有页岩

的节理面出露。

由于本地区受自然条件影响较大，通常在以下三种情况下易于发生坍塌：第一，融雪后此处边坡有积雪，在春融时，雪水伴随土体向下坍塌；第二，解冻后，土体化冻破坏了土体的稳固性，使土体强度降低，形成坍塌；第三，降雨后，水分渗入土体内部，使其内摩擦角与粘结力减小，以致发生坍塌。

除上述因素外，此处挖方边坡既陡且高，地表水渗入土体内部（系降水与天然沟渗水），又未设通支撑建筑物，因此发生坍塌。根据上述情况，可以采用的整治措施为：将坍塌体作部分清除，并将弯道半径减小一些，这样可在路基内侧较脚（坍塌体的下部）设通干砌挡土墙，并配合地表排水措施，使坍塌体稳定下来。

示例2 云南××路麓的坍塌

路线坍塌路段位于沿河斜坡地带，山坡上缓下陡，自然较度为 $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。山坡有较厚的坡积层，土质松软，地表部分以粘质砂土成分居多，厚3米左右；地表以下为碎石类土，含少量的部石、块石；底部基岩为中等风化的砂质灰岩，节理发达，在此路段范围内无露头。本地年降水量为800~1,000毫米，雨季（在6~9月）降水占全年45~75%，日最大暴雨量为66毫米，较差较大。

路线在此斜坡地带展线，作回头路线以路堑通过，其内侧边坡一般为 $1:0.3\sim 1:0.5$ 。通车不久，在下部的4台路线均发生不同程度的边坡坍塌，见图1-1所示。第七台（最下一台）路线的路基外侧边坡坍塌，至观测时尚未稳定。同时附近地势低洼，地表水易于汇集，并与靠近河床的冲沟连接，而冲沟还在向沟脑发展，因此路基外侧边坡不稳定。第六台路线的路基有局部下沉现象，它是由于第七台路基内侧边坡过陡而发生坍塌后，边坡土体有轻微滑动所引起的；另外第六台路基内侧边坡设置的干砌挡土墙因边坡土体坍塌滑动，使其中部向外凸出。

此处产生坍塌的主要原因是：山坡自然坡度较陡，土质松散，连续回头路线的边坡开挖过陡，使坡面的整体性遭受严重破坏，致使下一台路基内侧边坡坍塌，因而影响上一台路基外侧斜坡的稳定，使路基发生



图1-1 回头路綫边坡坍塌情况

变形。同时山坡上部的地形平緩低洼，有較大的汇水面积，并有水稻田，水分則不断渗入边坡土体，且在雨季受暴雨的侵袭，地表逕流冲刷边坡，除引起坡面冲刷外，还加剧了边坡坍塌的发生。

可采用如下整治措施：排除地表水，减少水对坡面的冲刷；对坡面加强防护，以增加坡面土体的稳定性；在路基内侧坡脚设置必要的支撑建筑物；对于第七台路基外侧边坡，采取加固路基的措施，靠近河边的坡脚部分加强防护，并截断地表水流向冲沟。

由上面几例可以看出，过陡和較高的边坡与不良的地质条件，将使边坡产生坍塌，在勘测施工阶段即应注意。

二、堆塌

(一)特征

岩堆是指由于物理风化而形成的岩石碎块的堆积体。堆塌为岩堆表面的石块在重力作用下个别地或成堆地沿坡面向下塌落的现象。石块堆积在坡脚，其运动速度一般較坍塌緩。当发

生变形后的坡度与岩堆石块的休止角相适应时，则边坡基本保持稳定。堆塌没有滑动面或软弱面。

(二)形成的条件及原因

1.地形 山坡较陡，坡度一般在 $35^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间。

2.地质条件 岩堆主要由物理风化作用（有时亦伴随化学风化作用）产生的岩层碎块堆积物所组成，各种岩层均可产生这样的碎块，其成分为岩屑、碎石、块石，掺杂极少的土，有时含大孤石。这种堆积物是由山坡上的岩块经过搬运后形成，或者由于强烈的风化所形成。如风化严重的软质岩层变得十分破碎，使岩层的原有结构发生变化，虽然它的层位没有大的变动，但实际上却已成为松散的堆积体。

对于岩堆的现状，需要判明其为发展或稳定阶段。路线若通过发展中的岩堆地区，则很难彻底防治，应尽量绕避；而稳定的岩堆在配合必要的防治措施与选定正确的位置以后，路线可以通过。

3.影响因素 堆塌主要是由于路堑的边坡过陡，使岩堆的石块失去平衡所致。其次是由于震动作用。而受到水的作用也会使岩堆的稳定性降低，不过它取决于岩堆中土的含量多少，当土的含量较多，则岩堆的休止角便显著降低，如土的含量极少，则水对岩堆的稳定性影响很小。

(三)对公路路基的危害性（附示例）

一般浅路堑或低路堤发生堆塌的现象不多，即有，其运动速度亦较崩塌、落石、坍塌等缓慢，因而对建筑物的威胁不大，除较大规模的堆塌会发生阻车以外，一般对路基的危害性不大。

示例 西象××路路的堆塌

堆塌路段位于某山分水岭北麓山岭地区的斜坡地带，系湖泊河谷地

区，经受气流侵袭，晴雨转变极快，但以阴雨时间居多，降雪期为全年的三分之一。全年刮风时间较多。由于地质构造运动的结果，岩层褶皱剧烈，节理发育，同时温差变化大，并经受雨雪的反复作用，特别是山坡较陡地区岩层的物理风化作用尤为明显，使岩层破碎，山麓堆积极为发育，岩堆尚在发展。基岩属片岩及片麻岩系，此处出露的岩层为片岩与板岩，呈互层状，并夹有少量的石英岩脉。

因地形所限，路线必须在岩堆中、上部通过，此段长约2公里。岩堆自然坡度一般为 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ ，部分地段为 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ，岩堆成分为碎石、块石，以块石成分居多。由于在山坡较陡地段的路堑较深，内侧边坡亦陡，故发生堆塌。可以采用的处理措施：减少开挖深度，路基尽量采用半填半挖，并在路基内外侧砌置高1.5米左右的挡土墙以增加边坡的稳定性。但上部陡崖岩层尚在继续风化，常有石块滚落，因此，还需要作经常性的维修工作。

三、坍塌（包括堆塌）的调查与试验工作

山区公路以沿溪线或越岭线居多，经常遇到不同厚度的堆积层，常以路堑形式通过，有时路堑切割堆积层影响边坡的稳定，因此有必要对其特性作调查、试验。

（一）调查工作

对每一个坍塌（或堆塌）工点的各种地质因素应作综合性的调查分析。如地形的描繪一定要与岩石性质、构造作用、地下水埋藏情况等联系起来。在描述岩石露头或土石情况时，应说明它的物理力学性质、抵抗风化的能力、斜坡坡度及特点、河流作用、地表的覆盖情况等。

对地质条件应作详细的调查。需要调查坍塌（或堆塌）工点的地形地貌特点、位置与范围。调查地表植物的生长情况，地表特征（凸地、凹地、湿地等），地质构造和天然水系的分布，以及天然水沟与地下水的关系，水沟的汇水面积与位置，大气降水渗入土层的程度。调查阶地边缘与靠山边缘高出河流

枯水位的高度，阶地的宽度、长度及其他各级阶地与基岩之间的关系。当调查山坡时，应说明地质断面的性质、风化特征、岩层产状、山坡高度与陡度，划分与描述堆积物的成分（指残积土、坡积土、冲积土、洪积土、冰碛土等）。描述岩堆的形态及发展变化情况。查明坍塌（或堆塌）范围内地下水的露头与成因类型，地下水的活动变化情况及其对边坡稳定的影响。

调查可通过访问，记载坍塌（或堆塌）发生的历史与时间，它与人为因素或自然因素的关系，调查并观测采取防治措施以后的效果。

当进行工程地质测绘时，根据实际情况，决定每个工点的观测点的数量与位置。进行详细描述时，还应配合照像、繪素描图、采标本、作必要的剖面图。在工程地质图中应表示出地层、岩性、地貌特征、坍塌（或堆塌）范围与位置、微地形的变化、山坡变形、防治建筑物的位置、以及长期观测点的位置等情况。平面图的比例尺用 $1:1,000 \sim 1:2,000$ ；剖面图的比例尺用 $1:200$ 。

（二）試驗工作

坍塌或堆塌的发生除与地质条件、地貌特征、水文地质条件、河流作用、气候条件、人为因素等有关以外，它还与边坡土石本身的物理力学性质有直接关系，同时当设计防治建筑物或分析某工点采用过的防治构造物的效果时，边坡土石的物理力学指标都是不可缺少的资料。边坡土石特性的指标包括比重、容重、孔隙度、含水量、顆粒組成、內摩擦角、粘結力、渗透性质等，它可通过野外与室内试验得出。在采取试样时要注意到边坡土石成分的变化，取样应具有代表性。应该指出，目前要全面的用试验方法准确地求出大颗粒土壤（或土夹石）的物理力学指标是有困难的，因此，有时还应参考各种土石已

有的经验数据，并结合对发生坍塌（或堆塌）的土体变形情况反求土石的粘聚力与内摩擦角，以便互相参照核对，使确定的物理力学指标尽可能切合边坡土石的实际情况。稳定边坡值的确定，将在第二章中论述。

第三节 崩塌（包括落石、剥落）

一、崩塌

（一）特征

巨大的岩体失去与基岩的联系，在重力作用下，瞬时突然剧烈地从边坡陡崖上倒塌到坡脚下堆积起来，岩块常被撞得很破碎。发生崩塌的运动速度极快，岩块在运动中有滚动、跳跃现象。运动结束后，崩塌体基本稳定。岩层无滑动面，但有软弱面或有构成软弱面的条件。当崩塌发生以前，有时发现岩层具有新的裂缝或其他变形特征。

（二）形成的条件及原因

1. 地形 崩塌在高陡山坡地带发生，坡度常为 $45^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。

2. 地质条件 崩塌发生于块状或层状的岩石中，如砂岩、石灰岩、花岗岩、片岩、片麻岩、角闪岩等，特别是在厚层硬质岩石覆盖于软质岩石上的陡壁，或者是在硬软岩石互层上的陡壁更容易发生崩塌，而且它与斜坡的陡度和高度有关系。斜坡陡（岩体的稳定性差）是发生崩塌的必要条件。岩层的构造面（如片理、层理、节理、断层破碎带）与山坡的倾向一致，则岩层的褶皱、断裂、裂隙、软弱面就形成崩塌的重要条件，一般至少要有近于垂直或斜交的两组节理，才有可能产生崩塌。

3. 影响因素

1) 由于开挖路堑加陡了边坡的坡度，使岩体失去平衡。

2)地表水滲入岩體裂縫，或者地下水在裂縫中流動，使岩體的自重增加，同時還受到靜水压力的影響。

3)由於冰凍作用及風化作用的結果，加速了岩石裂縫的發展，使岩層的堅固性降低。

4)其他如大爆破、地震、植物根系在岩石裂縫中生長等影響，均會加速崩塌的發生。同時降雨量、蒸發量、氣溫等變化情況對於岩石的性質也有影響。

(三)對公路路基的危害性(附示例)

崩塌是山區公路上較為常見的一種地質現象。由於發生崩塌的規模一般較大，同時在發生時的沖擊力很大，常使建築物遭受嚴重的破壞，經常斷絕交通，給行車安全帶來很大威脅。

示例1 四川××路綫的崩塌

崩塌路段位於溪谷地帶，山坡自然坡度為 45° 左右。地質剖面自地表向下為：土壤層厚約20厘米；殘積層（為砂性土）厚30厘米，系基岩風化帶的表層；基岩為花崗體，其中含有閃長岩成分的捕房體。岩層節理發達，節理面上可見到構造擦痕，接近殘積層部分的岩石破碎，多數已變成粒徑10~20厘米的碎石。

在某年路綫改建時，將原路屋加深3米，內側边坡1:0.1近於垂直，第二年初發生層塌，崩塌岩體達三萬餘立方米。崩塌發生的原因，除本章第二節坍塌示例1所說的自然因素影響以外，還由於表層風化嚴重，岩層節理發達，使其堅固性降低，而且改建路暫的边坡過陡且高，因此發生崩塌。已經採用的處理措施，主要是清除崩塌體，放緩边坡，边坡坡度值上部為1:0.75，下部為1:0.4。現已基本穩定，但需採用防止岩層繼續風化的防護措施。

示例2 雲南××路綫的崩塌

崩塌路段位於山嶺河谷地區，自然坡度為 50° 左右。年降水量為800~1,000毫米，雨季（6~9月）降水佔全年45~75%，氣候差別較大，冰凍期有兩個月。路綫從陡崩腳部疊過，下部為深谷。岩層為砂質灰

岩，呈灰至深灰色，粗糙块状，有方解石致密结晶体，砂质胶结，岩层具有节理，裂隙中有 CaCO_3 沉淀物（呈灰白色的方解石结晶体）。

路堑内侧边坡近于直立。改建后第三年4月间边坡岩体一次崩塌计三千余立方米，清除后恢复通车。崩塌沿岩层节理面发生，在裂隙中除有 CaCO_3 沉淀物外，并可见到水流渗入后，粘土颗粒沉积的痕迹。图1-2所示为岩体沿节理面发生崩塌后的软弱面（图中的白色部分）。在勘测施工阶段对此软弱面未予以重视。



图1-2 崩塌软弱面（图中白色部分）

示例3 四川××路线的崩塌

崩塌路段处于溪谷的左侧，山坡陡峻，自然坡度在 50° 以上。陡壁为基岩组成，系红色砂岩夹页岩互层。岩层倾向与路基中线斜交。岩层有两组近于互相垂直的节理，一组节理倾向路基。

由于岩层节理发达，并受风化作用的影响，路堑内侧边坡为1:0.2，其高度达20~30米，同时施工时曾采用大爆破，对岩层的震动较大，在雨季期间又受到地表水流渗入裂隙，因

而使岩体沿着岩层的两组节理面发生崩塌，构成“V”形崩塌面。崩塌时的飞石打坏了木桥的栏杆。经抢修后，将大部分崩塌体清除，恢复通车。

二、落石

单个的岩块由于长期受到风化、胀裂、震动的影响，使岩层裂隙扩大或增加，岩块（直径在40厘米以上者）脱离基岩；或者是山坡上的单个孤石，由于开挖路堑，边坡变陡以后，受到水的作用，使稳定性降低，则岩块或单个孤石在自重作用下，从陡坡（一般坡度在 45° 以上）上突然滚落下来，停留在坡脚的平缓地带。落石的形成条件及原因与崩塌相同，在各种不同的岩石中都会发生。

落石在山区公路上较为普遍，它的运动速度极快，当建筑物受到岩块集中冲击力的作用时，常遭破坏，也或威胁到行车与行人的安全，有时亦会引起其他病害。

例如，云南某路某年6月雨季期间，某晚约有2立方米大的岩块沿山坡滚下，将路基外侧的浆砌块石挡土墙打坏，形成宽3米、高5米的缺口。

三、剥落

（一）特征

岩石碎块（粒径为40~400毫米）或岩屑（粒径在40毫米以下者）与岩层失去联系，在重力作用下，沿坡面向下滚落，而后在坡脚堆积起来。它的运动速度比较缓慢，但却沿坡面长期不断地进行。一般也将岩石碎块的剥落现象称为碎落。

（二）形成的条件及原因

1. 地形特征 发生剥落的山坡较陡，一般坡度在 35° ~ 40° 以上。

2. 地质条件 剥落主要在泥质岩层中易于发生，尤以頁

岩、泥岩最常見，而板岩、泥灰岩、泥質砂岩中也常見到。剝落發生地點的岩層構造面通常與山坡的傾向不一致。岩層褶皺、斷裂、節理的相互切割與斷層破碎帶，以及風化作用等都是產生剝落的重要條件。

3. 影响因素 剝落主要是風化作用的產物。泥質岩石受到水的浸入，水質溶液對岩石產生破壞作用，加上溫度變化的影響，使岩石受到干濕漲縮的反复作用，而冰凍作用又常加速岩石裂隙的發展，以致破壞岩石結構，使岩塊成岩屑與基岩失去連接，發生岩石剝落現象。此外，由於開挖路基，致加陡边坡也直接加速了剝落的發展。

(三) 對路基的危害性 (附示例)

剝落是山區公路上常見的現象，它雖然對建築物直接的破壞性不大，很少會因剝落而中斷行車，但是它經常阻塞邊溝，影響排水，使路基軟化，降低路基的穩定性。而且有時由於長期剝落的結果，亦會引起崩塌或落石現象的發生，所以仍需積極整治。

示例 湖南××路邊的剝落

此段路邊边坡為泥質岩石（頁岩、泥岩、少量的泥灰岩），節理發達，受到物理風化作用的影響而發生边坡岩層的剝落現象，使原來近於垂直的边坡變成 $1:0.3 \sim 1:0.5$ 的边坡，路基邊溝經常被填塞，如圖 1-8 所示。由於边坡上部厚岩層的節理較多，下部岩層不斷發生剝落，使上部岩層的支撐力量減弱，所以經常有岩體崩塌現象發生。

四、崩塌（包括落石、剝落）的調查與試驗工作

崩塌的野外調查基本上與一般的工程地質調查方法相同，只是在調查內容與着重點上有所不同。它需要進行細致深入的調查、作詳細的工程地質測繪，認識自然現象，研究分析崩塌的形成和發生過程，了解促使其發展的各种條件、因素和作