

铁路特殊工程地质技术丛书

崩塌与落石

胡厚田 编著

中国铁道出版社

1989年·北京

糊数学理论对岩质边坡崩塌落石进行预测的方法，并对我国崩塌落石灾害报警研究现状进行了较全面的介绍。

（四）铁路崩塌落石的防治措施和勘测：本书从工程地质的观点出发，提出了崩塌落石地区的选线原则；以实例详细介绍了山区铁路崩塌落石的整治措施；在勘测方面，重点介绍了工程地质勘测的要求和内容，并对航空遥感技术在崩塌落石区勘测的应用进行了探讨。

本书在编写过程中，曾得到铁道部第二勘测设计院陈曰友等同志的帮助；李秉生教授审阅了部分书稿，并提出了许多宝贵意见；蒋爵光教授也给了不少帮助；西安铁路分局略阳工务段、凤州工务段和拓石工务段，以及西昌铁路分局乌斯河工务段都提供了不少资料；此外，还有铁道部刘甲申、西南交大余光策等许多同志对本书曾给予支持和帮助，在此一并表示感谢。

作 者

1987年6月

内 容 简 介

本书提出了崩塌的新概念及理论性探讨,以解决这项特殊工程地质问题,内容有:

(一)根据崩塌的形成条件和发生机理的分析研究,总结出崩塌的发育阶段及其发展基本模式,并进行合理分类。

(二)提出了潜在崩塌体稳定性评价方法和计算方法。

(三)应用地质数学方法解决崩塌落石的预测和预报问题。

此外,还根据国内长期工程实践总结了崩塌地区地质选线、选址和防治措施。

本书可供工程地质研究,山区建设工程岩质边坡设计、养护参考。

崩 塌 与 落 石

胡厚田 编著

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 施以仁 封面设计 翟达

各地新华书店经售

北京顺义燕华营印刷厂印

开本: 850×1168毫米1/32 印张: 5.875 字数: 153千

1989年11月 第1版 第1次印刷

印数: 1—1500 册 定价: 4.90 元

ISBN7-113-00421-0/TU.103

前 言

崩塌和落石是山区常见的一种不良物理地质现象，铁路交通常受其危害。据原西安铁路局1981年一年的统计中，宝鸡—天水，宝鸡—上西坝两段线路总长494km，即发生崩塌落石422处，总延长57.602km，给铁路运营养护造成极大困难。仅宝成线略阳—上西坝一段，线路长127km，1981年暴雨期间，即出现较大的崩塌落石34处，接长明洞31处，改建隧道3处。我国其它各铁路线，如成昆、川黔、黔桂、湘黔、襄渝、鹰厦、成渝、石太等线也都有崩塌落石产生。据铁道部统计，全国铁路沿线每年均发生崩塌落石达数千处，危害严重且普遍，是山区运营之一大敌。此外，公路、矿山和河岸等边坡工程也有大量崩塌落石产生。因此，如何防治崩塌落石则是工程地质学中的一个重要课题。

我国铁路系统在崩塌落石的研究和防治方面积累了丰富的经验，近些年来，在崩塌落石研究上也有新的进展，取得了一些成果。作者收集了路内外这方面的丰富资料和一些科研成果，对崩塌落石进行了较详细的论述。全书共十章，可分为四个部分。

(一) 崩塌落石的形成条件和产生机理：根据大量崩塌落石的实例，论述了崩塌落石的形成条件和产生机理，总结了崩塌发育的三个阶段，在此基础上提出了崩塌发展的五个基本模式，进而按崩塌体的初始运动状态，对崩塌进行了分类，为潜在崩塌体的稳定性计算，提供了一个有效的途径。

(二) 潜在崩塌体稳定性评价及落石计算：在全面阐述崩塌体稳定性评价的基础上，着重介绍了潜在崩塌体稳定性评价的图解新方法和定量计算方法，以及落石的计算。

(三) 崩塌落石的预测及其灾害报警：崩塌落石的预测及灾害报警是边坡岩体研究的一个重要方面。本书详细介绍了应用模

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 崩塌与落石的定义.....	(1)
第二节 崩塌与落石对铁路的危害.....	(3)
第三节 崩塌落石的分布.....	(6)
第二章 崩塌落石的形成条件和影响因素	(9)
第一节 地形地貌条件.....	(9)
第二节 地层岩性条件.....	(12)
第三节 地质构造对崩塌落石的控制作用.....	(14)
第四节 降雨和地下水与崩塌落石的关系.....	(17)
第五节 地震和列车震动对崩塌落石的影响.....	(21)
第六节 其它因素对崩塌落石的影响.....	(24)
第三章 崩塌形成的机理	(29)
第一节 崩塌的发育过程.....	(29)
第二节 蠕动位移到突然崩塌的基本模式.....	(33)
第四章 崩塌分类	(40)
第一节 国内外崩塌分类的概况.....	(40)
第二节 崩塌的分类和说明.....	(41)
第五章 潜在崩塌体稳定性的评价	(44)
第一节 潜在崩塌体稳定性的定性评价.....	(44)
第二节 各类崩塌体稳定性检算的方法和典型实例.....	(58)
第六章 落石及其计算	(71)
第一节 落石的影响因素.....	(71)
第二节 落石的分类.....	(79)
第三节 落石的计算.....	(85)

第七章 崩塌落石的预测及其灾害报警	(106)
第一节 崩塌落石的预测.....	(106)
第二节 崩塌落石的灾害报警.....	(126)
第八章 崩塌落石地区的铁路选线	(137)
第一节 在崩塌落石地区必须重视地质选线工作...	(137)
第二节 崩塌地区线路位置和路基断面结构的研 究.....	(139)
第三节 崩塌区局部选线的几个实例.....	(143)
第九章 崩塌落石的防治	(148)
第一节 防治崩塌落石的遮挡建筑物.....	(148)
第二节 防崩支撑建筑物.....	(153)
第三节 防崩拦截建筑物.....	(158)
第四节 防崩的加固措施.....	(162)
第五节 绕避和其它防崩措施.....	(166)
第六节 崩塌落石区的组织管理工作.....	(168)
第十章 崩塌落石地区的勘测	(171)
第一节 对工程地质工作的要求.....	(171)
第二节 崩塌落石地区工程地质测绘工作.....	(171)
第三节 崩塌落石地区勘探和试验工作.....	(173)
第四节 航空遥感技术在崩塌勘测中的应用.....	(174)
参 考 文 献	(180)

第一章 概 述

第一节 崩塌与落石的定义

崩塌与落石虽然都是山区高陡边坡常见的现象。但人们对它们的理解并不完全一致，现有的关于崩塌和落石的定义都不尽相同。

苏联的И. В. 波波夫1951年在《工程地质学》一书中写道：“崩塌是大块的，常常是巨大的岩块之破碎。其发生照例是突然地，同时崩下的整块岩体翻落在山崖底下凸出的部分而撞得粉碎。”

铁道部工务局1960年编的《铁路路基养护》一书中说：“巨大的土体或岩层，因长期经受风化侵蚀或震动作用，脱离山体，在自重的支配下，突然而猛烈地从高陡处滚翻到低的地方，叫做崩塌。”“如崩塌规模较小，仅个别或少数石块，则叫做坠石”。

张伟元、王士天1964年^[38]认为：“陡峻或极陡斜坡上，某些大块或巨块岩体，突然地崩塌或滑落，顺山坡猛烈地翻滚跳跃，岩块相互撞击破碎，最后堆于坡脚，这一过程称之为崩塌。”“个别巨石崩落则称坠石。”

郑象铤等在1962年^[43]写到：“巨大岩块或岩体因长期经受风化剥蚀或震动作用使本身脱离母体，在自重支配下，瞬息间突然而猛烈地由高陡处滚翻到较低的地方，撞成破碎的散块，其运动往往是跳跃式前进，这种现象称为崩塌。”“山区斜坡岩层，由于风化作用或节理裂隙发达，经常发生小型岩块的坠落，其现象与崩塌相似，唯规模较小，一般称为落石或坠石。”

从上面几个定义来看，有的人把崩塌限于陡坡上的岩体的崩落，不包括土体；有的在定义中强调崩塌过程，有的强调作用

力，形成的原因和影响因素。总之，不很一致。崩塌这种不良物理地质现象不仅有岩体，而且有土体，如黄土崩塌等，不能仅限于岩体。崩塌的形成原因和影响因素是复杂的，在定义中不易做到全面完整地描述。并且定义应力求简单明确。因此，作者认为崩塌落石可作如下的定义：

陡坡上的巨大岩体或土体，在重力和其它外力作用下，突然向下崩落的现象叫做崩塌。崩塌过程中岩体（或土体）顺坡猛烈地翻滚，跳跃，相互撞击，最后堆于坡脚。这种现象和典型的滑坡有以下四点显著不同：（1）滑坡运动多数是缓慢的，而崩塌的运动快速，发生猛烈；（2）滑坡多数沿固定的面或带运动，而崩塌则不一定沿固定的面或带；（3）滑坡发生后，多数仍保持原来相对的整体性，而崩塌体原来的整体性则遭到完全破坏；（4）滑坡的水平位移大于垂直位移，而崩塌则相反。

所谓落石是指陡峻斜坡上的个别岩石块体在重力和其它外力作用下，突然向下滚落的现象。有人认为落石就是小型崩塌。但从其形成条件和产生原因来看，和崩塌不完全一致，它的形成条件更简单，更容易，它还包括个别岩块的滚落。

在铁路科技文献中常见“坍方”和“崩坍”两词，有时容易和崩塌一词混淆。“坍方”通常是指山体 and 山坡变形现象的总称，它包括崩塌、滑坡、错落、堆塌、落石、坡面泥石流等。而“崩坍”包括的范围比“坍方”略窄，是崩塌、错落、堆塌和落石的总称。可见，铁路上的“坍方”和“崩坍”两词概念不甚清楚，都是泛指某些路基病害的总称。事实上，各类变形现象之间，有区别，又有联系，而且在一定条件下，有时可互相转化；同时，在两种现象之间，还有过渡类型。从防治路基病害的目的出发，研究病害，主要在于掌握其形成条件、产生原因、运动规律，进而了解其稳定状态和发展趋势，以便采取相应的防治措施。在名称上有时不注意严格区分，这是造成“坍方”、“崩坍”二词和崩塌有时混淆的原因。在研究崩塌的过程中，应注意它们的区别。

第二节 崩塌与落石对铁路的危害

铁路路堑边坡的崩塌与落石对铁路建设和运输的危害是巨大的，主要表现在以下几点。

(一) 崩塌落石直接造成行车事故与人身伤亡

崩塌与落石虽不如滑坡规模巨大，但它们发生的处所多，频率高，防不胜防。在山区铁路的施工和运营线上，都会造成重大事故。其中在运营线上，崩塌落石造成的行车和人身伤亡事故最多。

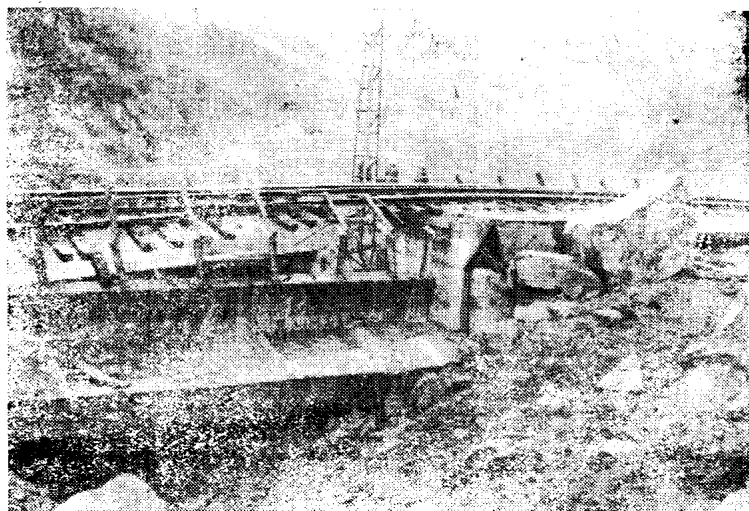
如宝成线丁家坝—大滩之间，K293+365处，1981年8月16日4时，发生山体崩塌720m³，造成812次货车颠覆7辆，电力机车被打入嘉陵江之中，中断行车62小时11分。如成昆线1979年K812崩塌，造成列车颠覆事故，砸坏货车多辆。再如宝成线军师庙车站K312处，岩石山坡高陡，1981年8月16日，从200m高的山坡上落石，其中一块落石1.85m³，砸到停留在该站三股道的164次旅客列车上，落石穿透车厢，旅客死亡1人，伤21人。

(二) 崩塌落石破坏线路及其它设施，阻断行车

运营线上的大规模突然崩落的岩体，不仅堵塞线路，掩埋路基，而且还会摧毁线路设备，从而中断行车，给铁路运输造成重大损失。

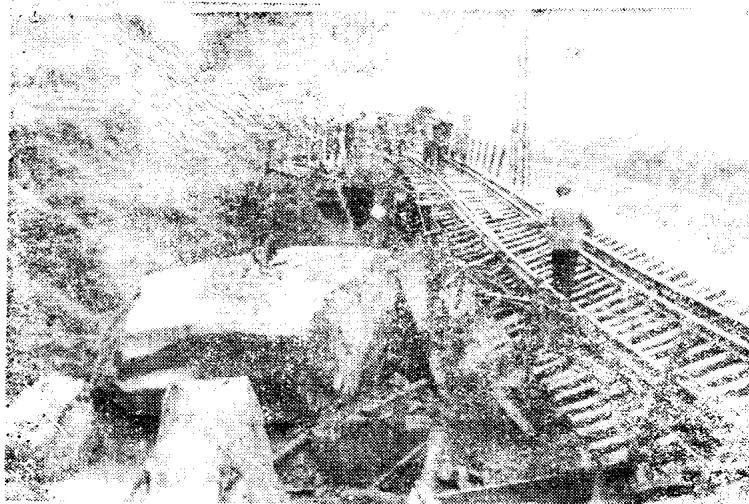
如宝成线K215+575~+625，石灰岩山体，岩层破碎，1978年9月12日因连续降雨，山体崩塌10000m³，停留在线路上的约1000m³，崩塌的石块最大的有120m³，砸坏了线路和接触网，中断行车86小时20分。

再如宝成线K324+490~+613，明月峡1号隧道南口，为峡谷地段，右侧山坡有三层悬崖，悬崖由石灰岩夹页岩组成，节理发育。1968年6月7日，突然发生崩塌，全是大块岩石，共15000m³，砸坏线路，堆在路基上的巨石有7000m³，最大一块体积达1700m³。中断行车194小时45分。崩塌规模之大，在我国路基病害史上是少见的。

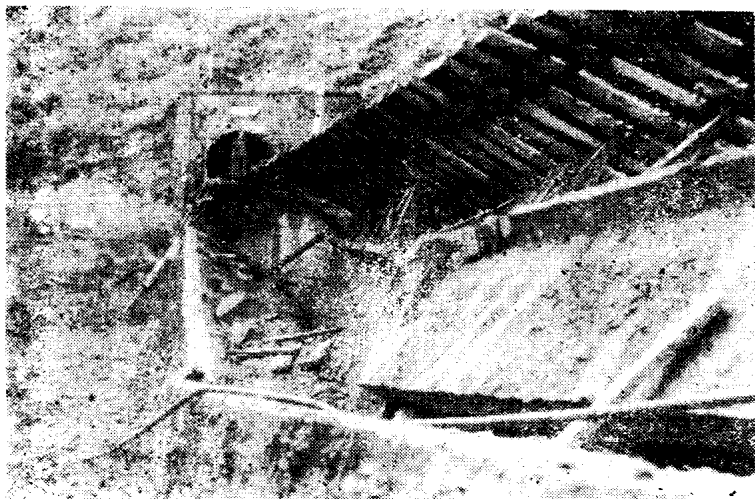


照片 1—1

运营线上的落石，虽然规模很小，但发生频繁，也经常破坏线路设施，中断行车（见照片1—1）。宝成线丁家坝—大滩车站，线路长11km，在28年间（1955—1983年），据不完全统计，较大落石有95次，时有打坏轨道、列车和输电网的事故，其中有20多次造成中断行车。



照片 1—2 巨大落石击毁桥梁



照片1—3 桥梁折断倾倒

（三）崩塌落石击毁桥梁，中断行车，造成重大损失

山区铁路的崩塌落石有时能击毁边坡下的桥梁，中断行车，造成重大损失（见照片1—2、1—3）。襄渝线巴山—达县段，先后于1983年8月和1985年9月连续两次发生崩塌落石击毁坡下的桥梁。具体情况如下：（1）K451+822楠木沟中桥。因7月底连降大暴雨，在灾害发生前20天内共降雨380mm，于1983年8月19日9时15分，从线路右侧82m高的山坡上，滚落下 12.6m^3 孤石一块，击中该桥，将第一孔梁全部击毁，中断行车22小时58分，直接损失22.1万元。（2）K493+000下长坝1号大桥。灾害发生前有15天下雨，共降雨333.5mm，1985年9月21日22时35分，山坡上突然产生崩塌，最大岩块 256m^3 ，顺山坡滚落下来，击中该桥第一孔梁，致使预应力钢筋混凝土梁折断。同一天23时06分、23时41分和22日6时，又相继崩落三次，一块 59.4m^3 的巨石击伤该桥第2孔梁，中断行车132小时07分，直接损失达39.02万元。

（四）为整治崩塌落石增加大量基建投资

崩塌落石除破坏线路，中断运输，造成直接损失外，为整治它常常要增建遮挡、拦截、支撑、加固、排水等工程措施。在崩

塌落石严重地段，为保证行车安全，有的还需要改建隧道。整治一个大型崩塌落石工点，往往需要数十万，百余万，甚至上千万元投资。如宝成线略阳—上西坝段，自通车以来到1981年水害前，先后接长明洞近70处（次），80%以上皆因危岩落石；1981年水害后，因危岩落石接长明洞31处，因危岩落石改建隧道3座，总延长3097.37m，花费巨额投资。

除铁路之外，崩塌落石对其它建筑物或场地的危害也是十分严重的。近年来，我国露天矿边坡屡遭崩塌之灾，特别是1982年6月湖北盐池河磷矿，发生灾难性大崩塌，高160m，体积约100万立方米的山体突然崩落，冲击气浪将四层大楼抛至对岸撞碎，崩落的土石冲向对岸，造成建筑物的毁坏，有284人丧生。

第三节 崩塌落石的分布

崩塌落石多发生在山区，就世界范围来说，只要是多山国家，崩塌落石就有分布。如日本是多山岛国，可能发生崩塌落石的陡坡地带约有7400处，几乎遍布日本全国各地区。在苏联崩塌落石主要分布在喀尔巴阡、克里米亚、高加索、外高加索、中亚、西伯利亚和远东的山区。其他各洲的山区也都有崩塌落石分布。

我国幅员辽阔，是个多山地的国家，是崩塌落石分布较多的国家之一。我国的西南、西北山地多，崩塌落石分布较为广泛，特别是长江三峡地区和云南的横断山区，天然的崩塌落石更多。崩塌落石给各种线性工程，特别是给铁路带来的灾害最大。山区铁路沿线崩塌落石普遍，据1981年全国铁路的统计资料，除台湾省外，有48条铁路，仅一年之内即发生崩塌落石共3395处，累积延长为412108m。全国各条铁路1981年崩塌落石分布情况详见表1—1和图1—1。

全国铁路（除台湾省外）崩塌落石分布表

（1981年统计）表1—1

线 名	崩塌落石数 (处)	延长(m)	线 名	崩塌落石数 (处)	延长(m)
1. 滨 洲 线	31	6785	25. 宝 成 线	387	53889
2. 图 佳 线	20	4749	26. 兰 新 线	46	9118
3. 沈 吉 线	17	5265	27. 京 通 线	80	7545
4. 长 图 线	16	3433	28. 滨 绥 线	21	4230
5. 锦 承 线	8	2040	29. 汤 林 线	14	1865
6. 京 承 线	20	3637	30. 牙 林 线	19	4753
7. 津 浦 线	4	130	31. 嫩 林 线	71	17738
8. 京 广 线	39	2690	32. 浑 白 线	52	6190
9. 石 太 线	213	2940	33. 博 林 线	6	460
10. 京 包 线	42	11773	34. 烟 白 线	64	6175
11. 京 原 线	27	1417	35. 丰 沙 线	70	3580
12. 北 同 蒲	6	590	36. 沈 丹 线	10	471
13. 南 同 蒲	11	1010	37. 集 二 线	7	113
14. 包 兰 线	20	6908	38. 汉 丹 线	6	2120
15. 太 焦 线	38	6145	39. 辛 泰 线	29	4062
16. 焦 枝 线	10	810	40. 鹰 厦 线	114	13226
17. 浙 赣 线	8	1510	41. 外 福 线	37	5825
18. 陇 海 线	84	29942	42. 川 黔 线	239	6204
19. 襄 渝 线	222	11330	43. 成 渝 线	133	5120
20. 湘 黔 线	91	4179	44. 兰 青 线	8	1799
21. 湘 桂 线	23	2027	45. 阳 安 线	14	586
22. 黔 桂 线	59	5031	46. 青 藏 线	11	1990
23. 成 昆 线	94	16792	47. 东 川 线	26	1795
24. 贵 昆 线	52	4647	48. 威 铜 线	1	140

从表1—1可以看出，当年宝成线崩塌落石387处，川黔线239处，襄渝线222处，这三条西南地区的铁路线崩塌落石的处所最多。如按铁路局统计，以西南地区的成都局管辖范围内发生的崩塌落石最多，共706处，总延长52408m，居第二位的是西北地区的原西安铁路局管内。崩塌落石共657处。总延长66804m。

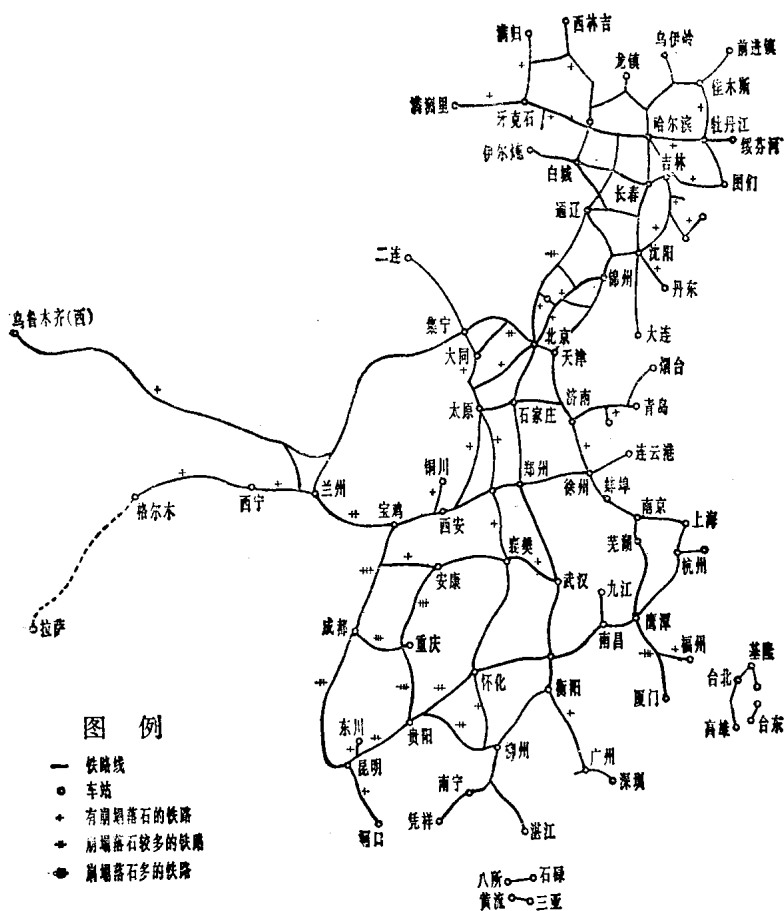


图1—1 全国主要铁路(1981年)崩塌落石分布示意图

第二章 崩塌落石的形成

条件和影响因素

第一节 地形地貌条件

一、陡峻的斜坡地形是形成崩塌落石的必要条件

大量的天然斜坡和人工边坡的崩塌落石的调查表明，陡峻的斜坡地形是形成崩塌落石的必不可少的条件之一。斜坡坡度越陡，越容易形成崩塌落石。我们在宝成线凤州工务段辖区，对57个崩塌落石工点进行统计，其情况如表2—1所示。

凤州工务段辖区崩塌落石与边坡坡度关系统计表 表2—1

边坡坡度	<45°	45°~50°	50°~60°	60°~70°	70°~80°	80°~90°	合 计
崩塌落石次数	14	11	7	17	6	2	57
百 分 比	24.6	19.3	12.3	29.8	10.5	3.5	100

从表2—1可以看出，有75.4%的崩塌落石发生在坡度大于45°的陡坡地形。值得说明的是，表2—1中坡度小于45°的14次均为落石，无崩塌。而且发生这14次落石的局部边坡坡度大多数陡于45°，个别处还有局部倒悬的情况。

发生崩塌落石的陡峻斜坡，通常是海、湖、河谷和冲沟的岸坡，陡峻山坡及人工陡边坡。其坡形可能是直线坡、凸形坡、凹形坡、阶梯形坡，只要其它条件具备，都可能发生崩塌落石。

此外，陡边坡的高度对崩塌落石的形成也有明显的影响，一般高度越大越容易发生崩塌落石。同时边坡的高度越大，崩塌落石的规模和强度也越大。下面表2—2是在宝成线凤州工务段统计的崩塌落石与边坡高度的关系。

崩塌落石与边坡高度关系统计表 表2—2

边坡高度 (m)	<20	20~30	30~40	40~50	>50
崩塌落石次数	2	11	10	11	23
百分比	3.5	19.3	17.5	19.3	40.4

从表2—2可以看出，崩塌落石绝大多数发生在边坡高度大于20m以上的边坡，高度小于20m的边坡崩塌落石仅占3.5%。

二、崩塌落石的地貌条件

(一) 陡峻的峡谷岸坡是常发生崩塌落石的地段

从宝成、宝天、成昆等铁路沿线的调查表明，河流的峡谷岸坡是产生大规模的自然崩塌的良好条件。如大渡河峡谷海满隧道成都端洞口，山坡为二迭系灰岩，在勘测期间曾目睹约1 000 m³的崩塌体从40m高的陡崖上崩落下来，形如一壁大墙，向河倾倒，仅几秒钟就落入大渡河中，激起高约40m的水柱，堵塞半边河道。相传在宝成线的虞关—白水江之间，明末清初曾有个吴王城，城内有300余户，地处嘉陵江右岸的高山之下，因大崩塌，全城被埋。在宝天线的渭河沿岸的峡谷区段，也发现许多大崩塌的遗迹。

当铁路沿河通过峡谷区段时，如果采用高陡的路堑边坡，则该段路堑是易于产生崩塌落石的地段。如宝成线大滩—冉家河一段线路，沿嘉陵江右岸通过浩沟头、愁悲岩、三滩、清风峡、明月峡、阎王边、老鸦崖等峡谷峭壁地带，崩塌落石较普遍，从宝成线通车至今已三十年，虽经过多方处理但仍不断有崩塌落石产生。

河流峡谷岸坡常具有以下特点：

1. 峡谷两岸地貌通常具有明显的新构造运动的特征。其主要特征是山坡部分既凸出而陡峻，又非一坡到顶。在坡地上部显示隐然位于一定高度的阶坎状地形。从地貌学观点来说，具有“多层地形”特征。这种地貌说明该区上升速度超过下切和旁蚀的强

度，同时也说明在上升过程中也有过相对停顿期。山顶与河床相对高差大，从数十米到数百米。

2. 峡谷岸坡陡峻。宝成线灵官峡、窄峡子等处均为陡峭的峡谷，两岸绝壁。其它峡谷天然岸坡坡度多在 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 之间。

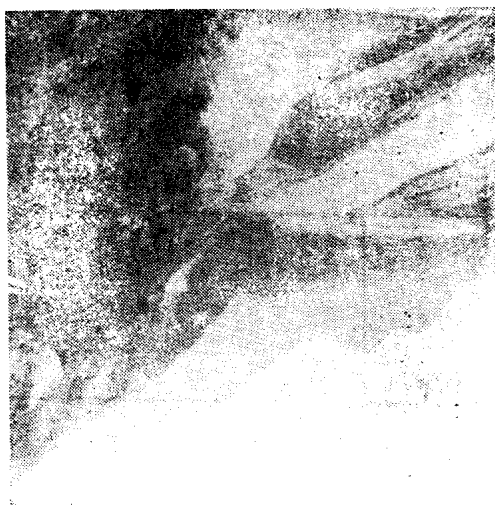
3. 峡谷岸坡上常具有与河流平行的张开的卸荷裂缝。如在宝成线明月峡和老鸦岩都有长数十米的卸荷裂缝。

4. 峡谷岸坡基岩裸露，多坚硬岩石。

(二) 山区河曲凹岸也是崩塌落石集中之处

一般来说，宽谷地貌区，河谷较宽，山坡坡度较缓，山坡坡度大部分在 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间，发生崩塌落石较少，但在河曲凹岸，因山坡坡脚遭受冲刷，

形成陡山坡，常发生崩塌落石。如宝天线拓石车站东部K1327+020~+150处，为渭河河谷凹岸，由于河流侧蚀强烈，山坡陡峻，平均山坡坡度在 70° 左右，岩石为黑灰色片岩、片麻岩，常有崩塌落石产生，该处已修棚洞防崩建筑物，见照片2—1。



照片 2—1

再如宝成线西坡至聂家湾一段，由于河道曲折，河岸被冲刷现象严重，岩石大部分受动力作用，褶曲强烈，多张开节理，坡面极不稳定，自然崩塌落石较普遍。

(三) 分水岭区段多以隧道通过，崩塌落石较少

越岭线多采用长隧道方案，很少采用路堑高边坡，故崩塌落石较少。但在迂回线段，采用路堑高边坡，也有崩塌落石产生。如宝成线七里坪—双石铺之间，为砂岩、砾岩、因风化严重，构