

崩塌与防治

曾 廉 编著

西南交通大学出版社

应当指出,无论崩塌、落石的规模如何,加强对崩塌、落石不良地质区段的地表排水,乃是十分重要而又必不可少的。

综上所述,对崩塌、落石病害整治的总原则是:预防与整治相结合,以达到防患于未然;稳定与清刷相结合,以稳为主,避免过多的破坏山体平衡;根据路基病害的情况,多方努力,综合整治,乃是省钱省事的好办法。总之,对崩塌、落石病害的整治,应从下述两方面努力:

1. 将崩塌、落石病害消灭在发生之前,即消灭引起崩塌、落石的因素。这是一项积极的措施。但如前所述,因为目前尚无准确的计算和判断崩塌、落石的理论与方法,所以单靠这种措施,往往要完全达到消灭塌崩、落石的目的是有困难的,故还必须有一种措施来加以补充;

2. 防止崩塌、落石威胁行车安全和砸坏设备。这是一种消极、被动、挨打的措施,但又是一种必不可少的措施。

运营经验告诉我们,如果能把这两种措施能动地结合起来,就能收到良好的技术经济效果,就能防止或减少崩塌、落石造成各种事故的可能性。

防治崩塌、落石的建筑物,根据用途的不同分为两类:用以加固崩塌、落石病害处所的建筑物,叫防治崩塌、落石的加固建筑物;用以防护线路不受崩塌、落石危害的建筑物,叫防治崩塌、落石的护路建筑物。本书对崩塌、落石的原因进行了全面分析,对岩质边坡的稳定性进行了力学分析,从理论和实践两方面论证了崩塌、落石的规律,系统地介绍和论述了防治崩塌、落石的加固建筑物的设计与养护。

作者

1990年5月

序 言

崩塌、落石病害的发生是许多因素综合反应的结果。防治人工边坡和自然山坡崩塌、落石现象的发生，是一项异常复杂的工程。如何准确地判断崩塌、落石的发生与发展，目前尚未研究出一种科学的理论与方法。从山区运营铁路自然灾害事故统计资料分析表明，很大一部分列车运行图的打乱，都是由于崩塌、落石所致；刚投入运营的新建山区铁路更为严重；随着路基病害的不断整治，崩塌、落石对行车安全的威胁程度将有所下降。因此研究崩塌、落石的原因与规律，防治崩塌、落石的发生与发展，乃是摆在山区铁路路基工作者面前的一项光荣而又艰巨的任务。

对崩塌、落石区段建立必要的检查制度，经常地、有计划地、特别是抓紧崩前、雨后对自然山坡、人工边坡及岩层露头进行全面细致的检查，乃是发现和掌握路基病害的主要手段之一。发现崩塌、落石预兆，应及时采取有效措施；发现可能导致崩塌、落石的因素，应根据轻重缓急，进行及时整治，以便将这些路基病害消灭在发生之前，这是消灭或减少崩塌、落石发生的主要措施。

小型崩塌、落石对行车安全的威胁，在某种意义上来说，比大型崩塌、落石更为严重。这是因为它的发生次数多；同时在发生之前难以被检查者所发现；而发生之后，坠落于线路时，又不易被司机及时发现之故。小型崩塌、落石

工点的整治，虽然工程数量较小，但是具有重要的意义，因此如何加强工务部门的路基日常维修工作，加强对零星小型路基病害工点的整治，以便充分发挥日常维修工作的作用，乃是不可忽视的问题。从某种意义上来说，路基工区（工队）对路基小型病害的整治，能起到大修所不能起到的作用，这是因为路基日常维修工作具有它本身的特点：开工及时，能将许多可能发生的路基病害，消灭在病害的萌芽阶段。

大型崩塌、落石不仅发生突然，而且摧毁力极大，目前没有任何防崩塌建筑物能承受如此巨大的冲击破坏力，故线路经过大型崩塌、落石地段是不合理的，应尽可能地绕避通过。在严重崩塌、落石不良地质区段，如果峭壁附近的边坡上有凹陷，具有倾向线路的大构造面或大型疤壳悬岩的话，应毫不犹豫地采用以稳为主的整治措施，或以隧道方案通过。如果必须切割山体通过时，应慎重研究设计方案，加强施工组织，采取妥善的安全措施。在过去的年代里，山区铁路通过不良地质区段，由于设计和施工不当，造成事故的教训是严重的。根据解放后三十多年的设计、施工、养护的经验表明，对大型崩塌、落石不良地质区段的选线，采取绕避是上策；及时整治是中策；破坏山体平衡后再进行整治是下策。

对中型崩塌、落石不良地质区段，线路以明洞或采取支撑建筑物加固的方案通过是完全可能的，必要时可以把明洞回填掩埋成暗洞，以支撑不稳定的边坡，增加稳定性。

小型崩塌、落石不良地质区段，线路可以大胆通过。只要细微的检查，认真地整治，完全可以人为地控制、避免或减少崩塌、落石的危害。而整治的方法是多种多样的，如“加固”、“拦截”、“遮挡”、“清除”、“减载”等等。

目 录

第一章 崩塌落石及其形成条件	1
第一节 崩塌、落石的定义与种类.....	1
第二节 崩塌、落石形成的地质条件.....	10
第三节 岩质边坡稳定性的分析.....	21
第四节 崩塌、落石地段的地质、地貌特征.....	55
第二章 崩塌、落石病害的规律及其善后处理	62
第一节 塌崩、落石的运动形式及力学分析.....	62
第二节 崩塌、落石病害与降雨量.....	73
第三节 崩塌、落石病害的规律.....	84
第四节 崩塌、落石区段的检查与资料积累.....	104
第五节 崩塌、落石的抢修与善后处理.....	117
第三章 崩塌、落石的支护与加固	140
第一节 浆砌片石护坡与护墙.....	140
第二节 支墙与支垛.....	151
第三节 支顶与嵌补.....	155
第四节 危岩插别与串联.....	164
第五节 破碎岩层的灌浆与勾缝.....	179
第四章 切割爆破	185
第一节 切割爆破的原理与适用范围.....	185

第二节	炮位选择与用药量 计 算.....	192
第三节	起爆网路 设 计.....	199
第四节	爆破安全与设备 防 护.....	221
第五节	切割爆破 实 例.....	229
第五章	水库坍岸的预测及其 防 治.....	244
第一节	水库坍岸的原因及其 预 测.....	244
第二节	水流特性及有关 计 算.....	253
第三节	水库坍岸及岸崩 防 护.....	283
第六章	风化剥落与 防 治.....	312
第一节	风化作用的意义及其风化 类 型.....	312
第二节	风化剥落的原因.....	318
第三节	风化剥落的 防 治.....	332
第四节	提高浆体护坡防护效果的 措 施.....	367

第一章 崩塌落石及其形成条件

第一节 崩塌、落石的定义与种类

一、崩塌落石的定义

崩塌是指陡峻边坡所发生的一种突然而又急剧的动力地质现象，即在地势陡峻、地质条件复杂的边坡上，其岩体、土体在自重和外力的支配下，突然脱离母岩（土）体而急剧地倾倒呈翻滚、跳跃状破坏。崩塌后，变形体各部分的相对位置紊乱，互无联系，较小的块体翻滚较近，较大的块体翻滚较远，堆积成倒石锥或岩锥。

落石系指在悬崖或陡坡上，个别岩块（有时伴随若干小块）在自重和外力的作用下，突然脱离母岩（土）体而急剧地下落。其性质与崩塌相似，唯其规模较小，在路基病害分类中被列为崩塌的亚类。

坍塌系指边坡的坡度与岩体所能维持的天然休止角不适应而产生的破坏现象，其主要特点是整个边坡不稳定，直至边坡坡度与岩体的天然休止角相适应为止。这种病害现象多发生在土质、土夹石或严重风化破碎的变质岩区段的陡峻边坡上。其发生过程的时间比崩塌要长，开始在上部产生张裂缝且逐渐发展扩大，在坍塌之前3~5小时，坍塌体的周围，特别是陡坎处首先产生一批坍塌现象，进而在坍塌体下缘凸起成小批坍塌或落石现象，随之沿边坡急剧下推，堆积于坡

脚处。当坍塌规模较大时，往往严重地掩埋线路。

崩塌和坍塌这两类路基病害，既有相似之处，也有不同之点。就其病害发生前的症状，崩塌和坍塌在发生之前，都必须首先出现裂缝；就其变形特性，崩塌和坍塌都具有急剧位移的特点；就其病害发生过程中的运动形式，崩塌在运动过程中，主要呈急剧倾倒、翻滚、跳跃状态，而坍塌在运动过程中，主要是顺边坡尤如山洪一样后浪推前浪地沿边坡急剧下推。因为崩塌和坍塌发生的原因和整治措施基本相同，且都具有急剧变位的特点，因此从实用的观点，有人主张将崩塌和坍塌归属于同一类型的路基病害。但是，从严格的理论上来说，因为崩塌和坍塌在运动过程中，具有不同的运动形式，所以将坍塌单独列为一种路基病害更为适宜；也有人将坍塌说成是崩坍型的滑坡，这种提法不够恰当。

二、崩塌、落石对铁路运营的影响及其危害

山区铁路，往往是穿越重山峻岭，跨过险滩峡谷，沿其河谷蜿蜒曲折地爬行，线路的一侧为破坏了平衡的陡峻山坡；另一侧为水流湍急的河岸险滩。山区铁路的特点，坡度大，弯道多，了望条件差。一旦崩塌，落石体侵入限界，会发生难以想象的后果。大型崩塌不仅可以成段毁坏铁路、公路和各类建筑物，而且堵塞河道，造成堰塞湖，淹没上游良田和建筑物。当堰塞湖溃决时，又造成下游严重水灾。例如1987年9月1日凌晨3时30分，四川省巫溪县城南，发生大型崩塌，一声巨响，从100 m以外的悬岩峭壁处，4000 m³岩体崩坠翻滚而下，摧毁一栋五层楼的宿舍、三所私人旅馆、几所民房和商店；掩埋公路，中断交通；砸死职工、

居民 95 人，砸伤 24 人。又如 1988 年 1 月 10 日 18 点又 37 分，该县西宁区下堡乡红岩山，从山顶发生大型崩塌，将山下百米宽的溪河拦腰截断，破坏公路 500 m，砸死 8 人，砸伤 7 人。两起崩塌，给国家和人民，造成重大经济损失和人员伤亡。

崩塌、落石乃是山区营业铁路上威胁行车安全的主要因素之一。山区营业铁路运行图的打乱，很大一部分是由于崩塌、落石所致。据西北某山区铁路 21 年不完整的统计资料表明，每年由于自然灾害中断线路的次数，其中 60% 以上是由于崩塌、落石所致。崩塌、落石曾给国家和人民造成重大经济损失，如 1962 年 8 月 25 日 6 时，宝成铁路 K 266 + 115 处，0.4 m³ 落石坠入道心，造成货物列车颠覆的重大事故，破坏线路上部建筑 200 余米，中断行车 23 小时又 12 分，经济损失几十万元；又如东南沿海某线 K 29 + 800 处，于 1965 年 3 月 × 日从远离铁路 480 m 以外的山坡上，坠落两吨多重的岩块，滚入线路砸弯钢轨一根，影响列车正常运行。

三、崩塌、落石的种类

(一) 崩塌的种类

1. 按崩塌发生的地点分

(1) 山崩；

(2) 岸崩。主要是水流冲刷、掏空坡岸所造成。这类崩塌，在内地沿河路基或水库路基，多为土体崩塌。在海边，海岸路基，因波浪对海岸的冲击破坏，无论是土体或岩体都能引起崩塌。

2. 按崩塌的物理特征分

- (1) 岩层崩塌；
- (2) 土体崩塌；
- (3) 混合体崩塌；
- (4) 雪崩。

3. 按软弱面的特性、形状及其崩塌发生的原因分

(1) 顺断层或风化夹层的崩塌。断层为应力作用的产物，且断裂两侧岩体，产生明显位移，所以断层带附近由于强烈挤压，往往形成很宽的断层破碎带，这是山体固有的软弱面。当断层、风化夹层的走向大致平行线路，且倾向线路，倾角又较大时，在上覆岩层很厚且节理发育的情况下，坡脚支撑部分一旦遭到破坏，极易形成大型崩塌。线路通过这类地区，当软弱面的上覆岩层很厚时，线路最好绕行通过；当软弱面的上覆岩层较薄时，最好以填方通过，或尽可能少破坏原有山体平衡。如宝成线 K 14+000~K 14+350，岩性为花岗岩，表层覆盖薄层堆积层，原设计以隧道方案通过断层破碎带，在施工过程中，由于破碎带风化严重，引起上导坑连续崩塌而透顶，事后线路被迫外移，以填方通过，才确保线路安全（图 1—1）。

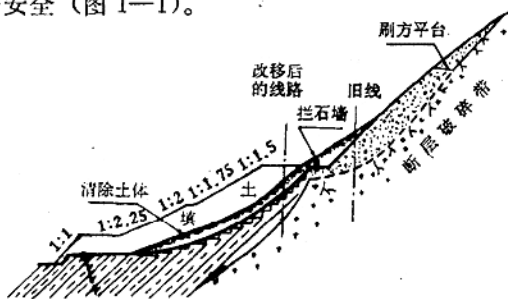


图 1—1

(2) 沿完整节理面（层理面、片理面）的崩塌。当节理面（层理面、片理面）倾向与坡向一致，且倾角为 $30^{\circ} \sim 65^{\circ}$ ，此类边坡往往由于开挖边坡切割了下部，形成所谓“断脚节理”破坏山体平衡而产生崩塌。根据节理面的倾角采取不同的整治措施。当倾角较大时，采用顺节理面刷方处理，是经济合理的；当倾角较小时，宜采用顶部刷方与支撑加固相结合的综合整治措施。如西北某线 K 154+015~K 156+865，系泥盆纪薄层石灰岩夹页岩，坡度 50° 呈凸形，有一组节理特别发育，与秦岭东西向构造一致，另有三组节理倾向坡面，其中 65° 倾角的一组节理最易产生崩塌。边坡开挖后，破坏了山体平衡，在雨季，不到 3 公里的线路，先后发生 13 处顺完整节理面的大型崩塌，共计崩塌 17 万 m^3 ，崩塌面最高者达 143 m。图 1—2 为该线 K 156+600 处的崩塌示意断面。

又如该线三滩隧道北口坚硬的石灰岩路堑边坡，1955 年 10 月发生顺弧形节理的整体岩层崩塌，计 1000 m^3 ，将附近一座一孔 2.4 m 的钢筋混凝土板梁砸断，并向江侧推移 2 m。崩塌后边坡出露一光滑的曲面（图 1—3）。

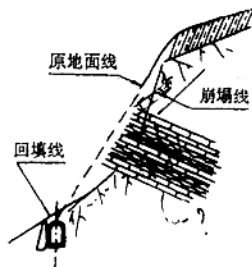


图 1—2

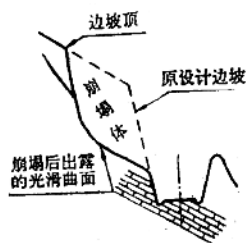


图 1—3

当线路经过褶皱地带，且与褶皱轴大致平行时，易于形成弧形节理崩塌（图 1—4）。这种弧形崩塌往往是一次性发生。

（3）X 节理切割的 V 字型崩塌。这类崩塌常发生在岩质较坚硬的花岗岩、片麻岩、辉长岩、辉绿岩和石灰岩区段。当坚硬岩层受到两组倾斜面相对的斜交节理切割，节理面以下的岩层又较破碎时，一旦下部遭到破坏，上部 V 字型节理体便失去平衡，发生崩塌（图 1—5）。崩塌后边坡上出现“V”形槽。该类崩塌往往是一次性发生，如果崩塌后出露两个平整的节理面直至坡顶时，则表明已完成一次性的



图 1—4



- 1 路基面
- 2 边坡顶
- 3 V字型崩塌槽
- 4 两组相交的节理
- 5 崩塌体

图 1—5

全部崩塌，因此对它的处理只需要清除崩塌面上局部不稳定的岩体即可；如果崩塌后，边坡上不出露上述形状，说明崩塌尚未完成，有继续崩塌的可能，此时应根据现场实际情况，考虑设计支撑加固建筑物。

（4）多组节理崩塌。多组节理切割楔形、菱形、矩形岩体崩塌的产状极不规则时，当岩层被多组节理切割，且节理

如有几组倾向线路的节理，易于发生顺几组节理面所构成的折线或曲线的软弱面的崩塌。当一组主要节理与一组次要节理切割时，易于形成楔形或菱形崩塌（图 1—6）。当两组主要正交节理切割时，易于形成矩形崩塌（图 1—7）。

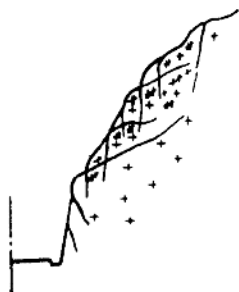


图 1—6

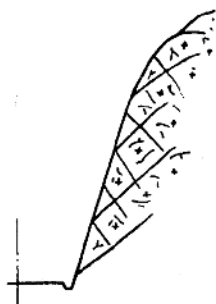


图 1—7

这类崩塌多发生在片岩、辉长岩、辉绿岩、花岗岩、片麻岩、石灰岩区段，且被多组节理切割的岩层中。这类崩塌往往是多次发生，每次崩塌的数量，与节理分布密度有关，通常，此类崩塌的数量可能很大。因此对这类崩塌的整治，宜采用支撑加固，与加强地表排水相结合，以稳定边坡为主的综合措施。如果采用刷方处理，可能导致边坡越刷越高，造成不可收拾的局面。如宝成线白雀寺附近，线路以路堑通过，岩性为辉长岩、辉绿岩，裸露的基岩被多组倾角不同的、倾向线路的节理切割成楔形，节理面风化呈褐色，形成了折线形的软弱面，由于开挖路堑时破坏了山体平衡，造成了 4000 m^3 的大型楔形崩塌。事后，线路被迫外移，同时进行局部清刷，并修建支撑加固及排水建筑物，方保证线路安

全。又如鹰厦线 K 451+000~400，系白垩纪流纹岩，因燕山运动，岩层有小褶皱，褶皱轴与线路斜交，张性节理很发育，裂隙宽 5~20 cm，且充满次生矿物和风化物，有少量裂隙水露头，节理间距 0.3~1.5 m，其中两组主要节理将岩层切割成块状（一组走向与坡面斜交，且倾向线路，另一组的走向与线路平行，对边坡稳定最为不利），1958 年 3 月 17 日 22 点雨后发生顺多组节理切割的大型崩塌，计 13700 m³，中断行车 11 天又 3 小时。事后对坡面进行了局部清刷，并修建明洞 108 m，方确保线路安全。

(5) 风化层或覆盖层沿较完整基岩面的崩塌。当山坡陡峻，基岩面倾角较大，其上覆风化层或覆盖层的脚部遭到破坏时，易于形成疏松体沿较完整的基岩面产生的大型崩塌

(图 1—8)。崩塌的数量与风化层的厚度，及坡面高度有关。这类崩塌的发生，可能是一次性发生，也可能是多次性发生，通常，崩塌面的高度往往会延伸到坡顶。它的发生大多是因开挖坡脚，破坏山体平衡后立即发生、或削弱了原有山体稳定

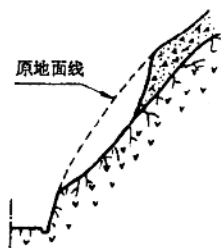


图 1—8

因素，边坡设计过陡，在雨季，大量的地表水下渗，增加了疏松体自重，降低了土的 c 、 ϕ 值而引起。对这类崩塌的处理，首先是加强地表排水，修建支撑加固建筑物，恢复山体平衡。只有当破碎层厚度不大，坡面又不太高时，方可刷方处理。如宝成线高潭子车站南头路堑处，位于嘉陵江凹岸，

自然山坡陡峻，表面覆盖层为土夹碎石，由于开挖路堑破坏了山体平衡，导致疏松体沿较完整的略呈凹形的基岩面崩塌多次，崩塌面高达 200 m，事后整理坡面，加强地表排水，并修建明洞，方确保线路安全。

当完整岩层层面较陡，其上覆风化层或覆盖层较厚时，由于边坡设计过陡，易于形成风化破碎层或堆积层的崩塌。这种崩塌有时是过渡性质的崩塌，进一步发展就可能形成破碎层沿较完整的基岩面的崩塌（图 1—9）。

（6）沿垂直节理产生的崩塌。这类崩塌发生在具有垂直构造节理的黄土、玄武岩等边坡上。如陇海线、宝天线、宝成线某些区段的黄土路堑边坡常发生这类崩塌；京广线坪石一带，白垩纪的坚硬红砂岩中垂直节理发育，也发生此类崩塌。对于该类崩塌的处理，往往是加强地表排水，适当放缓边坡，便能保持边坡在相当长的时间内处于稳定状态。但是，当垂直节理发展后，经过相当时间的酝酿，又可能形成新的崩塌。因此，当边坡较高时，应考虑设置必要的支撑加固建筑物。

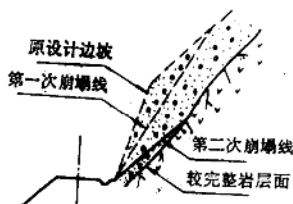


图 1—9

发育，也发生此类崩塌。对于该类崩塌的处理，往往是加强地表排水，适当放缓边坡，便能保持边坡在相当长的时间内处于稳定状态。但是，当垂直节理发展后，经过相当时间的酝酿，又可能形成新的崩塌。因此，当边坡较高时，应考虑设置必要的支撑加固建筑物。

（7）探头崩塌。这类崩塌是因软硬岩层互层（如石灰岩夹页岩、砂岩夹页岩等），软岩层置于底层，因软岩层风化较快，形成探头（或人工开挖不当，形成探头），上部的硬岩层因节理切割或其他原因，承受不了本身自重的剪力而引起崩塌（图 1—10）。它的形成一般要经过较长的时间，且

易于检查判别，易于发现，且多为小型崩塌，易处理。通常，采用刷方、支补措施即可。

(二) 落石的种类

按落石的成因分

(1) 岩层因节理、片理、劈理、层理等结构面切割形成的落石；

(2) 软硬岩层互层，因侵蚀不均形成的落石；

(3) 由于水流的冲刷、侵蚀形成的落石，如石灰岩溶洞边坡岩块坠落（图 1—11）和孤石坠落。



图 1—10

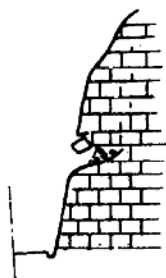


图 1—11

(4) 由于植物根系破坏形成的落石；

(5) 由于外力（如大爆破、地震，兽类活动等等）破坏，导致孤石、危岩的坠落。

第二节 崩塌、落石形成的地质条件

根据新线施工、已营业铁路路基养护的实践，产生崩塌的地段如下：

(1) 当线路方向与区域地质构造线方向一致时，易于产生沿节理面的崩塌。如秦岭山脉为近东西向的大褶皱带，凡沿东西方向走行的宝成线的有关区段，施工时几乎都发生过沿节理面的崩塌，K 15+660 数万 m^3 的大型崩塌就是例证。

(2) 软硬岩层互层，软岩层置于底层的地段。

(3) 不同岩层接触地带。

(4) 坡面坡角 $\alpha \geq 55^\circ$ 的破碎岩层地段或阶地边缘地区。

(5) 坡体岩石种类复杂（如混合岩、砂岩与页岩夹层、堆积层中的砂粘土夹碎石和孤石等）的区段。

(6) 岩层结构松散，节理发育，多组节理把岩层切割成块状，且风化破碎严重的地段。

(7) 岩层结构面倾向线路，倾角大于 45° 而小于自然边坡或路堑边坡坡度，以及路堑刷方高度超过 40 m 的破碎岩层地段。

调查与统计资料表明，落石现象一般多发生在岩层结构松散破碎、节理发育、悬崖峭壁和土夹石地段，即构造、岩性复杂，岩层破碎地带。

一、产生崩塌、落石的条件

岩质路堑边坡和山坡坡面的崩塌，通常是岩体剪应力值超过岩体的软弱结构面的强度时产生，而崩塌、落石工点的破坏过程，主要是岩体的部分结构体，在外力和自重的作用下，沿结构面的剪切滑移，拉开，或整体的累积变形和破裂所致。因此岩体的稳定性主要取决于岩体结构面的性质和空间组合以及结构体的性质。岩体结构面，按其性质与成因分为沉积结构面（层理、不整合面、原生软弱夹层等）、火成