

87.1556
LYNT

鐵路防治崩塌建築物

尼·米·罗依尼什維里

鐵道部第一設計院

1962 年 10 月



內 容 簡 介

本書綜述了蘇聯國內外鐵路防治山坡崩塌方面所取得的經驗，簡要的論述山坡崩塌現象的類型和特點。對於鐵路山坡崩塌區段所應採取的措施及防治崩塌建築物的設計、施工和維護方法作了系統而詳細的說明。同時，對於防治崩塌建築物的結構計算，提出有理論根據的新方法，並列舉計算示例。

本書可供鐵路綫路防護設計、施工和管理部門的工程技術人員參考。

目 录

作者序.....	1—2
----------	-----

第一篇 鉄路上山坡崩塌現象防治措施概論

第一章 山坡崩塌現象及其对綫路运营的影响.....	3—12
§1 山坡崩塌現象的种类及其发生的原因.....	3—9
§2 山坡崩塌現象的防治措施及綫路維修的附加运营費.....	9—12
第二章 山坡崩塌区段的路基經常維修和崩塌預告.....	13—25
§3 概論.....	13—14
§4 对路基及其相邻山坡状态的維持与检查.....	14—15
§5 山坡崩塌区段的統計和履历簿的填写.....	15—15
§6 山坡崩塌現象的預防措施和岩石崩塌区段的护路工作.....	15—21
§7 山坡崩塌的善后工作.....	21—22
§8 防治崩塌建筑物及排水建筑物的养护.....	22—25
§9 山坡崩塌現象的調查及統計 (崩塌統計)	25—25

第二篇 防崩塌建筑物的种类

第三章 防治崩塌的加固建筑物.....	26—36
§10 用以加固崩塌山坡及路塹边坡的措施.....	26—27
§11 边坡上岩层裂縫和空洞的鑲砌工程；支撐牆与砌面牆.....	27—33
§12 挡土牆和支垛.....	33—36
第四章 防治崩塌的护路建筑物.....	36—42
§13 主要用途与使用要求.....	36—38
§14 鉄路上防治崩塌护路建筑物的分类和使用經驗.....	38—42
第五章 防治崩塌拦截建筑物和設施的种类.....	42—58
§15 挖底式的拦石設施.....	42—47
§16 阻挡式的拦截建筑物和設施.....	47—56
§17 修筑拦截建筑物的基本規則.....	56—58
第六章 明峒.....	58—77
§18 明峒的优缺点及其适用范围.....	58—61

§19 防治崩塌明洞的类型和结构	61—77
------------------	-------

第三篇 防治崩塌护路建筑物的設計

第七章 护路总規則的編制, 建筑物形式与位置的选择	78—87
§20 編制設計的原始資料	78—79
§21 护路建筑物形式和位置的选择	80—83
§22 改移綫路和迴避崩塌地点	83—87
第八章 防治崩塌护路建筑物計算的基本原則和方法	87—110
§23 計算的基本原則	87—90
§24 飞越計算的理論基础和实验研究結果	90—100
§25 跳越計算	100—103
§26 落石空槽的容积和外形	103—106
§27 强度与稳固性的計算公式和标准	106—110
第九章 計算示例	111—131
§28 落石沟計算	111—116
§29 拦石牆計算	116—126
§30 落石平台計算	126—131
附件, 表 1 系数 μ	132
表 2 系数 ε	133
表 3 系数 ρ 和 λ	134
表 4 反射角 β	135
表 5 $l_{\kappa(\max)}$	136
表 6 $a_{\max}$	137
表 7 系数 x	134
表 8 計算軌迹的方程式	138
表 9 击入深度值 x	134
求算反射角 β 計算值的曲綫图 1	139
求算石块在 1 : 0.75 边坡上弹跳高度的曲綫图 2	140
求算石块在 1 : 0.75 边坡上弹跳高度的曲綫图 3	140
求算石块在 1 : 0.5 边坡上弹跳高度的曲綫图 4	141
求算石块在 1 : 1 边坡上弹跳高度的曲綫图 5	141

作 者 序

在穿过山区或地表水系——海、湖、河流陡岸坡脚的綫路上，崩塌是山坡和铁路路堑边坡变形的一种很普遍的现象。

崩塌会影响列车正常和安全的运行，给铁路运输带来巨大的损失。因此，防治崩塌，就具有极其重要的意义。

最近几年来，苏联的科学家和工程师，根据崩塌时岩石碎块运动的多年考察及理论研究结果，对防治崩塌护路建筑物的专门计算提出了有充分根据并经验证的理论和方法。

这样，就为在岩石崩塌地区防护线路而广泛采用的拦石墙、落石沟、落石平台和挡石堤、建立了理论基础。并第一次用计算方法来确定这些建筑物的尺寸。

最近，苏联各铁路运输设计机构，对防治崩塌的护路建筑物提出了几种合理的类型，并成功地用于实践。

然而，尽管在铁路防治山坡崩塌方面已积累了很多经验，但是不论在国内和国外的技术文献中，都没有详尽地阐明在易受山坡崩塌危害地段应该采取的綜合基本措施以保证列车正常和安全的运行。

特别是对防治崩塌建筑物的设计、施工、和作用上还没有专门书籍来把国内外的实践经验加以总结。

由于缺乏这类书籍，因此设计防治崩塌建筑物时，经常作出原则性错误的决定，错误地采用的各种建筑物及其计算方法。上述缺点往往使施工和维护过于粗陋，以致降低了建筑物的效用。

本书对铁路防治山坡崩塌现象的主要措施以及防治崩塌建筑物的设计、计算等问题，作了简要而系统的阐明。

本书系根据苏联国内外在线路运营及防治崩塌建筑物的设计和施工过程中所得到的经验写成的。同时，书中还有作者本人的研究成果，其中有的以前已经发表过，有的系现在第一次发表的。

书中没有列举计算防治崩塌建筑物的理论根据和公式推论，只在适当的地方提出可以找到这些根据的已有著作。同时，考虑到各种类型的防治崩塌建筑物的计算是一个新问题，因此，特在书中列举了计算示例。

本书可供铁路设计和施工部门的工程技术人员以及从事岩石崩塌区段的铁路线路运营的工程技术人员参考。

作者謹向曾為本書提供資料的高加索運輸設計院 (Кавгипротранс) 和西伯利亞運輸設計院 (Сибгипротранс) 以及外高加索、阿捷爾拜疆、北高加索、東西伯利亞等鐵路的綫路、房屋和建築物管理部門致以衷心的感謝!

第一篇

鉄路上山坡崩塌現象 防治措施概論

第一章

山坡崩塌現象及其对綫路运营的影响

§1. 山坡崩塌現象的种类及其发生的原因

自然界中土体(或岩层)的移动可分为两种主要形式:一种是属于緩慢的位移——滑溜、滑落等,如滑坡,滑坍※等;另一种是急速的位移——墜落、翻倒、滚动,如崩塌、墜石、岩堆等。此外,也有中間过渡的形式——滑坡性崩塌或崩塌性滑坡。前者,山坡变形开始是滑坡性质的。但以崩塌告終。后者,則恰恰相反,岩层的移动先以崩塌开始,然后逐渐过渡为滑溜和爬移。

就“崩塌”一詞的狭义來說,通常是指很快的、几乎是瞬間的岩层位移。这时发生单个石块或岩体翻落,同时圍繞重心旋轉、跳动,有时还跳跃。崩塌的特点就是具有突发性。

任何的岩层,不論是疏松的土层,或是胶結的碎屑岩,沉积岩以及火成岩都会发生崩塌。因此,可分为土体的、岩体的或石块的崩塌和混合性的崩塌。

崩塌多半发生在山区的陡坡或地表水系和水流——海、湖、河流、冲沟的岸边。因此,往往也可再分为岸边崩塌和山坡崩塌。

在鉄路施工和运营的实际工作中,关系重大的主要是山坡崩塌——土体的、岩体的和混合性的崩塌。下面,我們將时常提到山坡崩塌現象这一总的概念,即各种岩层的不同形式的急剧位移。

图1. 严重錯动和风化的砂岩山坡(本照片从略——編者)。

图1表示鉄路岩石崩塌地段的一个典型山坡。而图2是在山区河谷中的岩石崩塌区段。图2右側高出鉄路200~250米可以清楚地看到笔立的玄武岩露头。岩

※ 滑坍(Сплыв) ①沼泽化斜坡(一般是粘土质斜坡)之上,腐植土层順其下伏地层的滑动; ②飽水的疏松土层,主要是粘土层,順路堤或路堑边坡之滑动。——譯者注

石被寬大的裂隙割切，成为单个岩块。下方铁路路基旁还可見到拦石牆。

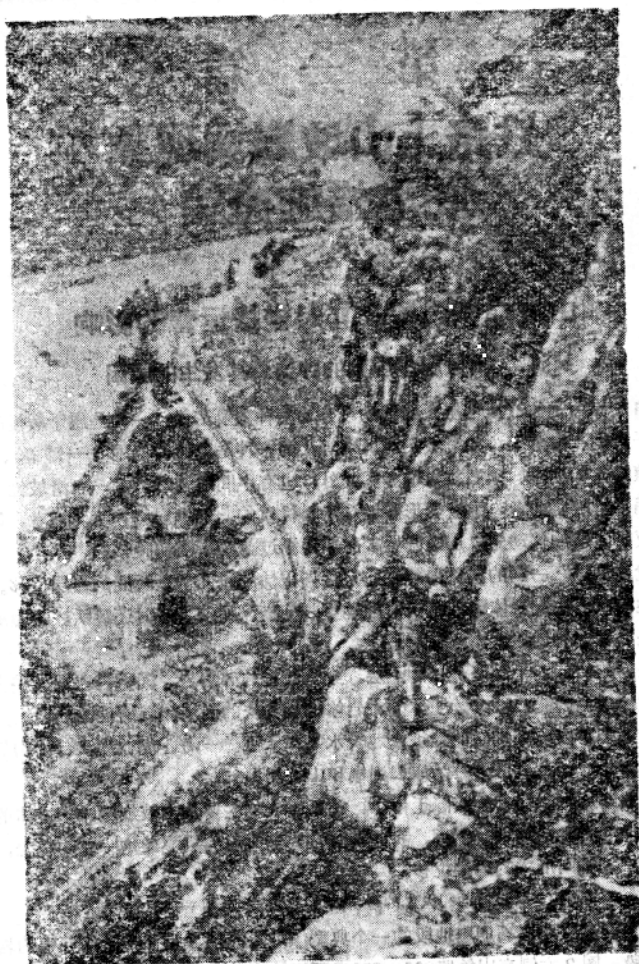


图2 山区河谷的岩质崩塌地段

图3. 在沉积頁岩中发生崩塌和滑坡的岸坡（本照片从略——編者）

图3是表示已开挖为路基边坡的崩塌和滑坡岸坡。在许多这样的区段，山坡崩塌是妨害行车安全和通畅的一种最普遍的自然地质现象。

在铁路运营的經驗中，常见的山坡崩塌现象按其物理特征可区分为一定的类型，阐述如下。

1. 岩体或石块的崩塌（岩石崩塌现象）

① 几百或几千立方米的大量岩石崩塌：如图4照片显示出大量岩石崩塌砸坏了货物列车。

图4. 被岩体崩塌砸坏的货车（照片从略——编者）。

② 由大小不同和形状不一的岩石碎块形成的少量岩体崩塌或石块崩塌，其总体积为150~200立方米。

③ 从山坡或路堑边坡上墜下或滚下的单个岩石碎块或石块。如图5就是山坡落下大块岩石击毁的铁路小学校舍的照片。

图5. 照片显示出大块墜石击毁了一座铁路小学校舍（照片均从略——编者）。

④ 风化严重的岩石露头的岩堆。

以上所列举的山坡崩塌现象，既可发生于自然山坡（陡坡，石峰，悬崖等），也可发生在路堑切坡上。

2. 土体崩塌

① 在普通土（粘土类、砂类、砾石类、及碎石类土）中的路堑边坡崩塌。

② 夹有疏松或易风化岩层（如火山灰、頁岩、泥灰岩等）的岩质或半岩质路堑边坡的崩落。

③ 边坡上复盖着基岩的疏松或胶结不牢的沉积岩层（如坡积层）崩塌。

3. 混合性的崩塌

混合性崩塌的特性和体积很不一致。它发生在上为疏松的或胶结不牢的沉积层（坡积层、残积层和冲积层）下为不均质的极破碎的岩质和半岩质岩层的路堑或半路堑边坡上。图6，表示路堑边坡发生混合性崩塌后经过清理的线路，该路堑边坡是由强烈錯动过的砂岩、泥灰岩和頁岩构成的。

引起山坡崩塌的原因可分为：为发生崩塌创造有利条件的自然历史原因，是内在的原因；和直接引起崩塌的外界原因。前者是指当地的地质构造，地形条件和气候特点而言。与地质构造有关的崩塌原因，又可分为：岩石的、地层的、和构造地质的。

岩石的原因：岩石由于本身的矿物成分、结构和胶结不牢而易风化破碎。

地层的原因：岩层互层抗风化和抗潜蚀力的强度不同。

构造地质的原因：具有促使崩塌易于发生的断层，破碎带和裂隙带、劈理

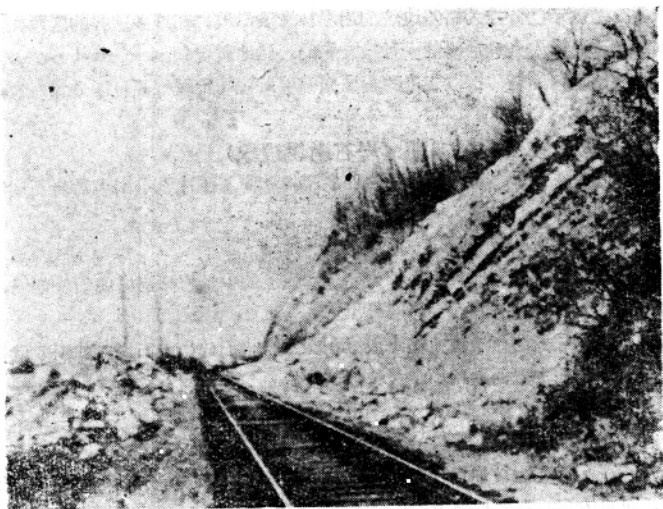


图6. 发生在路堑边坡上的混合性崩塌。

面，解理，以及各种褶皱，陡的岩层倾角（特别是倾向线路的）等等。

和地形条件有关的原因，如高差显著，山坡陡峻，有陡壁，石峰，悬崖等。

最后，还有当地气候特征方面的原因，包括昼夜显著的温差，频繁的大气降水，强烈而频繁的风。

外界的原因系指：①使岩石风化和破碎的大气因素的作用（如严寒、颶风、日晒、雨雪）；②地下水的作用——层理面和岩层裂隙的充水（这会降低摩擦力），潜蚀、动水压力及其他；③地表水的作用——岩层的充水、冲刷、淘刷以及其他破坏山坡稳定的一些现象；④地震的震动；和⑤人为的活动——山坡路堑开挖爆破时对岩层结构的破坏，列车运行时的震动以及路基经常维修不够等。（例如排水建筑物状态不良）。

前述各种山坡崩塌，对列车运行最危险的是岩石崩塌现象的前三种。岩石崩塌发生时既突然又急促，而且可能发生崩塌的地点、性质和规模亦极难及时确定，因此我们认为对行车安全来说，这种山坡变形比其他的山坡变形格外危险。但是，如果对岩石露头状态能仔细检查的话，一般也能得到足够的根据来确定岩石崩落的可能性，而及时采取措施保证行车安全。

上面说的，首先是指靠近铁路路基的山坡大规模变形和崩落，因为巨大的岩

体或較大岩块脫落的危險性，很少是突然产生的，而是經過一定时期，有时是相当長時間的酝酿才逐漸滋長的。这就充分地說明了在鉄路上大規模岩石突然崩塌是一种不多的現象。

对山坡崩塌統計資料进行分析的結果表明，山坡崩塌体积超过150~200立方米的，在鉄路运营实践中是异常少有的現象；超过这个数量的实际概 率（或然

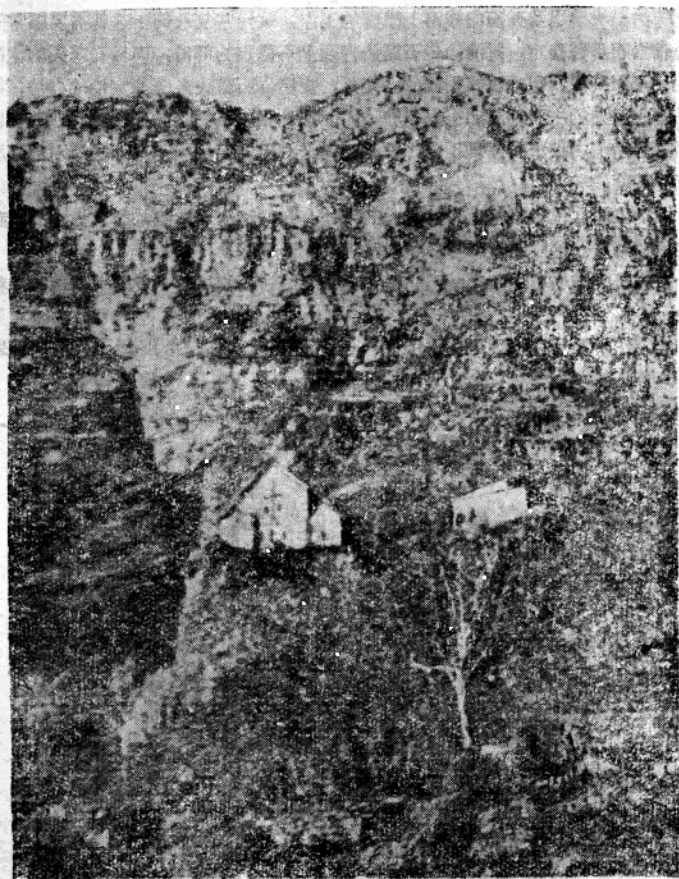


图7. 高悬于鉄路路基上方的风化严重节理发达的玄武岩陡坎和悬崖。

率) 仅为1.5~2%。

后三种山坡崩塌现象在铁路上是时常见到的, 而且对于行车来说, 最危险的还是少量的岩石崩塌以及大块孤石向线路上坠落。

正如山坡崩塌的统计所表明的那样, 绝大多数列车运行图被打乱, 列车事故以及铁路房屋被击毁, 都是由于后三种山坡崩塌现象所造成的。

防治石块崩塌及孤石向线路上坠落的工作, 是异常复杂的。这就需要经常仔细检查岩石是否稳定, 并清除岩石露头表面上不稳定的部份, 而岩石露头的位置又往往是很高的, 很难观察得到的。此外, 查定岩石露头各部稳定性的办法, 都是凭巡山工人的主观判断和个人经验, 因而都是相当不完善的。因此, 在许多岩石崩塌区段上山坡子防清理工作, 都很难完全消除岩石崩塌和孤石坠落对线路所造成的危险。

图7表示, 位于路基上方350~400米处有向线路崩石危险的节理发达的玄武岩陡坎和悬崖。这段陡坎和悬崖顺线路延展数公里。

岩堆是山坡崩塌现象之一, 它是大量松散的岩石细屑顺山坡向下移动的一种现象。

岩堆 主要是在物理风化作用使岩石破碎成角砾和碎石的地段上形成的。岩

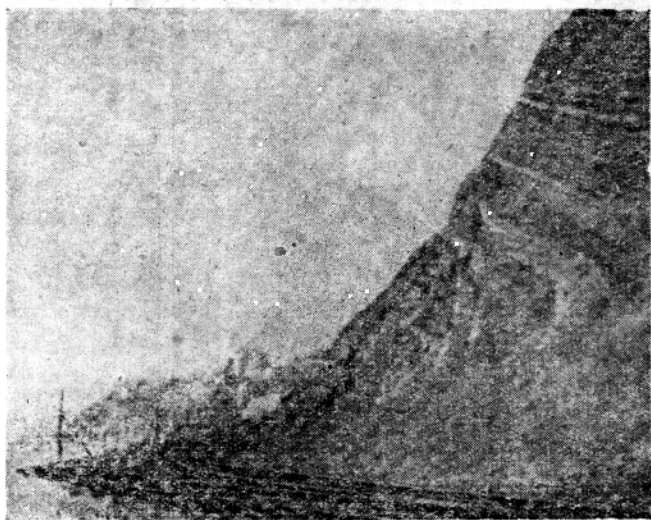


图8. 沉积頁岩中半路壩坡脚的岩層堆积錐

石碎屑堆落体在山坡一侧时常聚积成堆积裙或堆积锥（见图8）

在頁岩、泥灰岩、薄层砂岩及其他易风化的胶結不紧的和碎屑岩层构成的边坡上，发生的岩堆特别多。

岩堆不会突然把线路掩埋起来，因此并不特别危险。但要对它经常检查和定期清理，以免岩屑在路基附近的坡脚平台上大量聚集，并把排水及桥涵建筑物淤塞。

倘若边坡是由不均质的抗风化程度不一样的岩层构成时，不稳固的岩层在风化较快及堆落的同时，会促使坚固的岩层形成突出的悬崖，从而为发生混合性的崩塌创造了条件。

路堑边坡上的土体崩塌和混合性崩塌，防治起来，并不象岩石崩塌那样特别复杂。他们形成的原因一般都是相当明显的，只要采取适当的，多半是不复杂的（虽然有时是繁重费力的）工程措施，就可以完全消除对行车造成的危险。

§2. 山坡崩塌现象的防治措施及线路维修的附加运营费

铁路对于岩石崩塌区段上防治山坡崩塌和确保行车安全，常常是通过下列措施实现的。

- ① 路基经常维修和山坡崩塌予告；
- ② 崩塌区段的加固；
- ③ 防护线路免受山坡崩塌现象的危害；
- ④ 改移线路使之离开岩石山坡或绕避崩塌区段；
- ⑤ 修建隧道。

山坡崩塌区段路基的经常维修与一般的线路维修不同。它需要不断地、特别细致地检查路基及其相邻山坡的状态；同时对山坡崩塌现象采取予告措施。

崩塌区段的加固工作，主要是保证高度不超过50~60米的铁路路堑和半路堑的边坡稳定，而用于保证山坡和陡坡稳定的则较少。

保证山坡崩塌区段路堑和半路堑边坡稳定性的办法是减缓坡度，有时分台阶或植树，或修建防治崩塌加固建筑物。减缓边坡，虽然要在普通土和岩质土中做大量土方工程，但在大多数情况下它确是消除可能发生崩塌的一种根本性的措施。用适当建筑物来加固有可能崩塌的边坡的措施，主要是用在个别不长不大的需要加固的边坡上。

在岩石崩塌区段防护铁路线路不受山坡崩塌危害的措施，是修建防治崩塌护路建筑物、防崩塌护路建筑物，可以修成所谓拦截建筑物，崩塌时将岩石碎块拦住不使其坠于线路；或修成防治崩塌的明洞，从上部把线路遮盖住，以策安全。

拦石牆、落土沟、拦石堤等拦石建筑物，常常修在铁路路基与石峰、陡壁或悬崖之間坡度不大于 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 的平緩山坡上。防治崩塌的明洞，則相反，靠山一侧边坡既高且陡，它是用在铁路綫路紧靠非常陡峻而且高聳的岩石山坡处，或是用在半路壟中（在路壟中用的較少）。这时，靠山一侧的岩石露头可能从很高的地方向下崩塌。

防治崩塌护路建筑物主要用于下列两种情况：①当警觉的检查和予防性的措施都不能消除大块孤石或石块崩塌，随时可能发生突然墜落于綫路上的危险时；②修了护路建筑物后，能使常設崩塌所和进行山坡予清作业的运营費显著降低时。

将現有铁路改移、繞避崩塌区段或离开岩石陡坡一段距离，保証綫路在崩塌时不受岩石碎块之危胁，都能根本解决在綫路适当区段上的行車安全问题。但是在穿行于狭窄的山区河谷或位于陡峻坡岸边緣上的現行铁路的改綫，在工程上往往是很艰巨的，其造价也很高。

一般來說，修建隧道是更为复杂并且造价高昂。因此，只有在铁路通过的山坡上有巨大的岩块堆积或有不稳定岩体存在，并且曾經发生和将来还可能发生大量岩体崩塌的区段才应修筑隧道。

繞避崩塌区段的設計、和复杂条件下防治岩体崩塌的护路設計有密切关系。因此，改綫应和防治崩塌的护路設計全盘考虑。

铁路防治山坡崩塌工作和保障岩石崩塌区段的行車安全工作都要支出附加的运营費。这部份費用是由下列开支組成的：

- ① 山坡予清費用；
- ② 清除岩堆和崩塌費用；
- ③ 崩塌所的經費；
- ④ 机械化維修队之行政技術人員和崩塌領工具之薪金支出；
- ⑤ 防治崩塌建筑物之維修（落石空槽的修理和清理）費用；
- ⑥ 工程地质基点所需之費用*（与山坡崩塌現象有关的部份）。

上述費用之多少取决于許多条件，因此变化幅度也就很大。其中，影响最大的基本因素有：当地的地形条件和地质构造，山坡崩塌現象的特性和强烈程度，山坡的高度，山坡崩塌各段之总长及气候条件等等。目前，这项附加的运营費，还没有足够根据的定額。

对外高加索铁路六个工务段山坡崩塌区段的維修費做了分析以后，我們得出了每一公里长的崩塌区段的附加費用定額。六个工务段的崩塌区段总长度达76.4公里，即約为正綫长度的10%，而且崩塌地点总长约有一半都集中在上述六个工

务段中的一个段里。定額是近六年来运营費的平均值，可用来估算維修山坡崩塌区段的附加运营費。

表 1 所列的是每一公里长的崩塌地点附加运营費的概略定額。

表 1

运 营 費 分 类	定 額 千卢布/年
山坡預清工作	7~30
岩堆和崩塌的清理	5~10
崩塌所的經費	10~30
机修队行政技术人員的开支	3~7
防治崩塌建筑物的維修（落石空槽的修理和清理）費	1~1.5
工程地质基点之部份經費	1.5~2

随着某些工务段上的防治崩塌护路建筑物交付使用后，綫路崩塌所的經費及山坡預清工作費用将会减少，而防治崩塌建筑物的維修費則会增加。

由表 1 可以看出防治山坡崩塌运营費之定額的变化幅度相当大，同时大部分是崩塌所的經費和山坡預清工作的費用。

根据路基經營維修情况的不同，山坡崩塌区段可分为：复杂区段，不太复杂的区段（防治崩塌的条件居中的区段），和不复杂的区段。

复杂的区段是指山坡崩塌可能从高处（350~400米或更高）发生，并且又没有防治崩塌护路建筑物的区段。见图 9（图 9 是高出铁路 350~400 米风化严重节理发达的玄武岩陡崖露头照相一张——从略，編者注）。这种区段进行山坡預清工作的条件是异常复杂的，平均每一公里約需一个崩場所。

虽然山坡并不甚高，但却很陡，节理发达，被切割成有向綫路墜落危险的个别岩体、悬空突出岩块，和堆有巨大岩块的岩石陡坡也应该算是复杂区段。图 10 表示的就是这种区段。山坡上部垂直的悬崖是剧烈錯动过的玢岩。

在这种岩石崩塌区段，当不稳定的岩体未經加固或采取人工爆破以前，对崩塌地点的綫路，一般都要建立巡道員的昼夜护路制度。

防治山坡崩塌条件一般的（不太复杂的）区段，应为：①上述各区段中，凡已建好防治崩塌护路建筑物者；②山坡崩塌区段中有一部份地方可能从高的山坡岩石露头发生崩塌，而另一部份地方則只能从路堑或半路堑边坡发生崩塌者。

比較不复杂的山坡崩塌区段，指的是崩塌和岩堆只能在路堑或半路堑边坡上发生并且边坡的高度又很少超过 50~60 米者。（见图 6，8 和 11）。

图 11 所示是高度在 50 米以內的半路堑典型边坡，該边坡由断层带內剧烈錯动

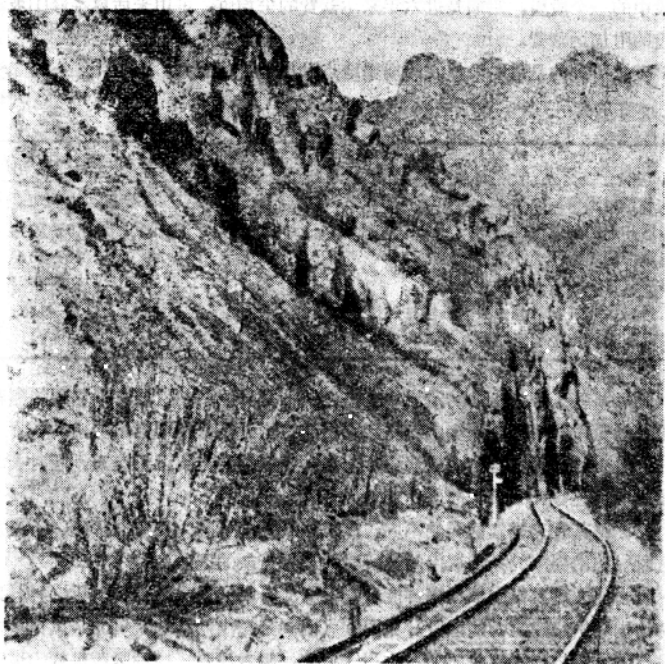


图10. 剧烈错动过的玢岩山坡上部的壁立悬崖。

过的砂岩、泥灰岩和頁岩互层所組成（本图是照片一张——从略，編者注）。

根据上述按經常維修难易程度对山坡崩塌区段的分类，利用表 1 定額时，最高的費用系用于复杂区段，最低的費用，用于不复杂区段，而中間值則用于不大复杂的区段。

倘若遇到比較少有的情况、当綫路两侧都是岩石崩塌边坡时，那么运营費的定額，應該在表 1 所列数字范围內，按綫路的每一側岩石崩塌边坡长度和維修的难易程度，取其平均值。

第二章

山坡崩塌区段的路基

經常維修和崩塌予告

§3. 概 論

山坡崩塌区段的路基經常維修和崩塌予告包括下列事項，

- ① 对路基及其相邻山坡状态的維護检查；
- ② 各山坡崩塌区段的統計和填写履历簿；
- ③ 执行山坡崩塌預告及山坡崩塌区段之护路措施；
- ④ 山坡崩塌的善后工作；
- ⑤ 防崩塌建筑物和排水建筑物的維修；
- ⑥ 历次山坡崩塌現象的調查研究和統計（崩塌統計）。

这些工作在各铁路局，都是遵照交通部制定的铁路山坡崩塌区段維修細則及各铁路局领导頒布的地方性細則进行的。

地区自然条件的区别如：区域地质构造、地势、气候、各种山坡崩塌現象的特点和剧烈程度等，决定路基經常維修組織工作的特点。不仅在各路局，而且往往就在一个路局内的各工务段，經常維修的組織，也都各有特点。书中，基本上是闡述外高加索铁路局某一工务段，所采用的路基經常維修的办法。这个工务段，由于岩石崩塌区段很长，而且自然条件也复杂，所以防治山坡崩塌的工作是特別困难的，采取的措施也是多种多样的。

为了完成与山坡崩塌直接有关的工作，各工务段还都有专门定員，即崩塌地点的巡守工，由有經驗的作业队长领导的防止山坡崩塌的巡山作业队（山坡崩塌作业队），和崩塌地点的領工員。巡道工、綫路作业队长以及綫路領工員，也都承担一些防治崩塌和預告崩塌的附加义务。

凡是山坡崩塌現象非常普遍，性质特別复杂的工务段，都成立以工务段长为首的，包括崩塌領工員和綫路領工員在內的山坡崩塌常設委员会。

当清理墜落岩石，崩塌岩石以及清除山坡上不稳定的岩块和石块工作量很大时，工务段上就成立路基机械維修队（“机修队”）。某些路局的“机修队”包括了所有的山坡崩塌作业队、和崩塌領工員。而在另一些路局的山坡崩塌作业队則属相应工区的綫路領工員直接领导，不編入“机修队”。