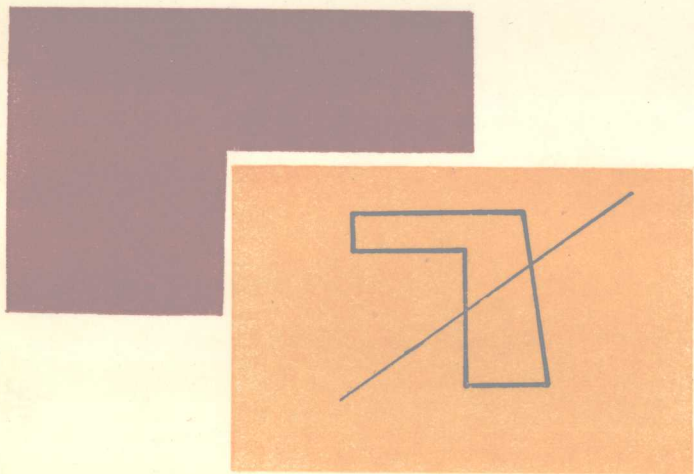


曾 廉 编 著

设计

防崩塌建筑物

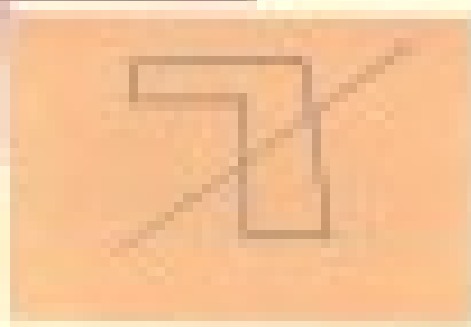
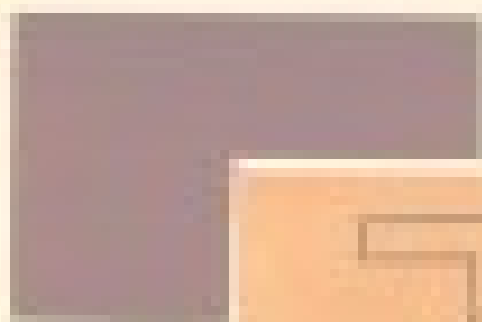


西南交通大学出版社

● ● ● ●

设计

防崩塌建筑物



地质出版社

68

防 崩 塌 建 筑 物 设 计

曾 廉 编著

新登字(川) 018 号

内 容 提 要

本书对山区铁路防治崩塌、落石护路建筑物的几种主要类型进行了深入的分析与介绍,系统地论述了遮挡建筑物设计和拦截建筑物设计。本书总结了作者多年的研究成果,列举了大量实际算例,在理论上有所创新,是一本内容丰富、实用性较强的工具书,可供铁路路基设计、施工、养护技术人员及地质专业师生参考,具有较宽的实用范围。

防崩塌建筑物设计

曾 廉 编著

*

序 言

防治人工边坡和自然山坡崩塌、落石现象的发生，是一项异常复杂的系统工程。这不仅是因为导致崩塌、落石的原因很多，而且至今尚未研究出一种准确判断崩塌、落石发生与发展的理论与方法。大量实践表明，无论是新建山区铁路，还是运营数十年的山区铁路，崩塌、落石均严重地危及行车、人身及设备安全。该害病害不仅给国家造成重大经济损失，而且往往导致车毁人亡，造成极坏的政治影响；国家每年用于防治崩塌、落石病害的投资高达数千万元，且长期居高不下。例如 1985 年 9 月 21 日 22:30，襄渝线曹家坝至花楼坝间 K 492+970 左侧山坡距轨面高 60 m 处，发生体积为 4000 m³ 的崩塌，将该处下长坝 1# 大桥 (2—31.7+2—23.8，桥长 131.8 m) 第一孔和第二孔的预应力钢筋混凝土梁砸断 3 片，幸亏被防洪人员及时发现，未造成车毁人亡的严重后果，但是该事故中断行车 132 小时之久，造成直接经济损失 20 多万元。

我国已建成大量的山区铁路 (如宝天线、宝成线、鹰厦线，成昆线、阳安线、襄渝线、湘黔线……等)，随着经济建设的发展，山区矿产的开采，今后将会修建更多的山区铁路。因此，研究崩塌、落石的原因、规律及其防治措施，乃是摆在山区铁路路基工作者面前的一项光荣而艰巨的任务。

通过大量山区铁路长期运营实践，我国对于山区铁路的

养护、崩塌（落石）的理论研究与防治措施等积累了丰富的经验。实践证明，防治崩塌、落石的有效措施有：“加固”、“清除”、“减载”、“遮挡”、“拦截”等等。

防治崩塌、落石的建筑物，按其用途的不同分为两类：用于加固崩塌、落石病害处所的建筑物，叫防治崩塌、落石的加固建筑物（如挡土墙、支墙、支垛、护墙、钢轨或钢钎插别与串联等）；用于防护线路不受崩塌、落石危害的建筑物，叫防治崩塌、落石的护路建筑物（如属于遮挡建筑物的明洞、棚洞，属于拦截建筑物的拦石墙、拦石护网、拦石堤、落石沟、落石平台等）。本书对遮挡和拦截建筑物的设计，从理论和实践两方面进行了系统分析与研究，用大量设计算例对上述各类建筑物的设计方法、步骤、计算公式进行了系统的介绍。

本书与作者 1990 年 12 月出版的《崩塌与防治》一书是姐妹篇，或者说《防崩塌建筑物设计》是《崩塌与防治》的续篇。前者除分析了崩塌、落石的原因和规律外，主要介绍防治崩塌、落石的加固建筑物，即防治崩塌、落石的主动措施；后者则介绍防治崩塌、落石的护路建筑物，即防治崩塌、落石的被动措施。由于崩塌、落石是一类极其复杂的地质病害，它的出现往往使人们防不胜防。因此，对崩塌、落石的防治应采取加固（主动）与防护（被动）相结合的积极措施。

作为一项综合整治的主要措施，挡土墙被广泛应用于铁路建筑工程（特别是山区铁路）中。在保持路堑边坡、路堤边坡、隧道洞口、桥梁两端及河流岸壁的稳定，支撑和加固不稳定的岩层和土体，整治崩塌等病害方面发挥了很大作

用。因篇幅有限，本书不再介绍，如果读者需进一步了解，请参阅有关专著。

《崩塌与防治》及《防崩塌建筑物设计》两书较系统地研究和论述了崩塌、落石的类型、原因、规律、加固、遮挡和拦截建筑物设计；突出了理论运用与设计算例，以解决现场实际问题为主线，将两书紧紧地联系起来，形成了一个研究、论述崩塌、落石病害较系统的材料。

作 者

1 9 9 1 年 9 月

目 录

一	遮挡建筑物的结构类型及其适用范围	1
二	隧道(明洞)轮廓尺寸的初步设计	23
三	围岩压力计算	39
四	遮挡建筑物的设计荷载	61
五	落石冲击静力荷载的计算	80
六	明洞顶回填厚度及双层回填层的设计	89
七	拦截建筑物的种类及其适用条件	117
八	岩块坠落速度的计算	134
九	拦截建筑物最大有效尺寸的计算	152
十	拦截建筑物的强度和稳定性检算	175
十一	拦截建筑物的构造与设计算例	204

一、遮挡建筑物的结构类型 及其适用范围

防止铁路免受山坡崩塌、落石威胁的遮挡建筑物有：明洞、棚洞和隧道。

隧道具有全能的防护效果。而明洞和棚洞是一种能全面地保证铁路不受山坡中、小型崩塌（包括雪崩）、落石、流石、流泥等路基病害威胁的护路建筑物。这类建筑物的特点是：

- (1) 施工复杂，造价高；
- (2) 在营业铁路上修建遮挡建筑物，施工与行车干扰大；
- (3) 遮挡建筑物一旦建成，具有全能的防护效果，且维修工作量少，维修费用小。

（一）明洞结构的类型及其适用范围

按照结构形式的不同、明洞的类型分为：对称拱式明洞；不对称拱式明洞；单铰拱式明洞；支撑拱式明洞和其他特种基础的拱式明洞等等。

明洞方案的选择及结构形式的设计，与地形、地质、水文地质及其承受外荷的大小等因素有关。其适用范围是：

- (1) 当崩塌、落石处所距线路较远，较大的崩坠体不能直接坠落到线路上的路堑或半路堑地段时，可考虑采用明洞

防护。因为崩塌、落石体在未达到洞顶之前，要经过一个较长距离的跳跃、滚动过程，在这一运动过程中，将大量地损失动能，且大的岩块，由于跳跃、滚动和碰撞的结果，通常分裂为体积不大的个体，分别在不同的时间，坠落在明洞顶的不同部位，对明洞不致产生破坏性的冲击荷载。

(2) 当崩塌、落石处所距线路较近，崩坠体能直接坠落到线路上的路堑或半路堑地段，并确认不可能发生较大的崩塌、落石时，方可考虑采用明洞防护。如果可能发生中型崩塌、落石时，宜采用重型全掩埋式防崩塌明洞。

(3) 当线路通过地质不良的垭口、山嘴地段，修建隧道有困难，开挖路堑又不能获得稳定的边坡时，可考虑采用明洞防护。

(4) 在地质不良、地形陡峻的隧道洞口附近，如果延长隧道，由于外侧山体太薄，将导致严重偏压；如果采用其他加固措施，技术经济效果又不好时，可考虑采用明洞接长隧道。

(5) 受泥石流和大量地表水危害的隧道洞口、路堑或半路堑地段，采用其他防护措施不经济合理时，可考虑采用明洞渡槽方案。

(6) 距轨面不高（如小于 25 m）的岩质路堑或半路堑边坡上的倒悬危岩，被节理切割，有滑向线路的危险时，通过综合技术经济比较，在有充分依据的情况下，可采用明洞支撑加固。

(7) 当公路、铁路或河沟必须从铁路上方通过，且不宜修建隧道、立交桥和涵渠时，可采用明洞方案通过。

应该着重指出，明洞造价高，设计时必须与其他方案进

行技术经济比较，在有充分理由的情况下方可采纳。任何不合条件的使用和结构设计的马虎，都可能导致失败或造成极大的浪费。

1. 对称拱式明洞（图 1）

对称拱式明洞主要承受对称或接近对称的荷载，用于路堑边坡岩层基本稳定处所，防护边坡高处的碎落或中、小型崩塌、落石对线路的威胁。

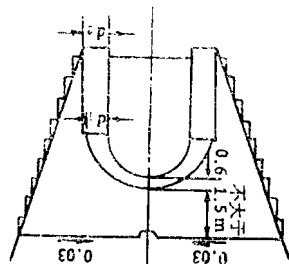


图 1

当岩块坠落到明洞顶的冲击静力荷载小于 40 kPa，

基底岩层的弹性抗力系数 $K = 0.3 \times 10^6 \text{ kPa/m}$ ，拱顶填土内摩擦角 $\phi = 35^\circ$ ，边墙内侧填石的内摩擦角 $\phi = 45^\circ$ 时，对称拱式明洞各部分的结构尺寸如图 1 所示（当墙背采用 50 号浆砌片石回填时， $d_1 = d_2 = 1 \text{ m}$ ；当墙背采用干砌片石回填时， $d_1 = 1 \text{ m}$ ， $d_2 = 1.2 \text{ m}$ ）。在地形和地质许可时，可将边墙基底沿纵向做成台阶形（台阶切割坡度应小于地基土壤的内摩擦角，并不得大于 65° ），以节约圬工。

2. 不对称拱式明洞

该类拱式明洞，根据地形、地质及其承受外荷大小的不同，内、外边墙采用不对称断面，其形式多种多样。不对称拱式明洞一般用于半路堑地段（有时也建于边坡不对称的路堑地段），防护中（小）型崩塌、落石、流石、流泥、雪崩等路基病害对线路的威胁。

图 2 适合于边坡岩层基本稳定，基底岩层较坏，外侧场

地较宽的半路堑地段，用于防护边坡高处的中(小)型崩塌、落石对线路的威胁。当岩块坠落到洞顶的冲击静力荷载小于 50 kPa ，地基岩层的弹性抗力系数 $K = 0.2 \times 10^6 \text{ kPa/m}$ ，拱顶填土的内摩擦角 $\phi = 35^\circ$ ，边墙内侧填石的内摩擦角 $\phi = 40^\circ$ 时，各部分结构尺寸如图 2 所示。

图 3 适合于边坡岩层较破碎，基底岩层承载力较小，外侧场地较宽，单侧压力较大的半路堑地段，用于防护较大数量的崩塌、落石、泥石流、雪崩等路基病害对线路的威胁。为了加强衬砌，拱部、仰拱及内边墙均设有钢筋，并伸“牛腿”于端墙中，以增加结构承受突然冲击荷载时的稳定性。当岩块坠落到洞顶的冲击荷载较大，地基岩层的弹性抗力系数 $K = 0.1 \times 10^6 \text{ kPa/m}$ ，拱顶回填土的内摩擦角 $\phi = 35^\circ$ ，边墙内侧填石的内摩擦角 $\phi = 40^\circ$ 时，各部分结构尺寸如图 3 所示。

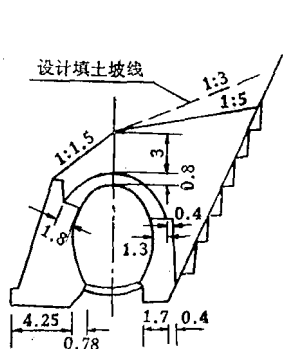


图 2

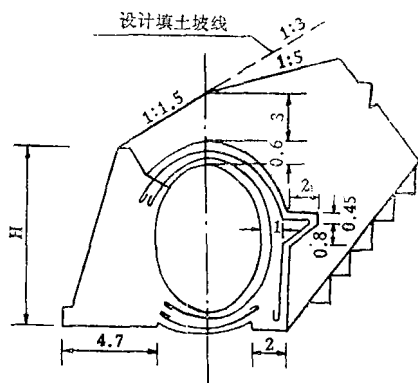


图 3

图 4 为掩埋式不对称拱式明洞。适合于边坡岩层基本稳定，地基岩层较好，外侧场地较宽的半路堑地段，用于防护边坡高处数量不大的崩塌、落石对线路的威胁。因危岩距轨面较高，崩坠体所导致的冲击荷载较大，且可能散落的面积较大，故宜设计钢筋混凝土结构，采用掩埋式。为了尽可能多地消耗坠落岩块的冲击动能，回填层宜采用塑性较好的土壤，且回填厚度应适当加大。

图 5 为使用最广的一种不对称拱式明洞的结构形式。它适合于边坡岩层比较稳定，地基承载力较好，外侧有一定场地之半路堑地段，用于防护小型崩塌、落石对线路的威胁。拱脚及边墙厚度，视岩层弹性抗力系数 K 、洞顶填土内摩擦角 ϕ 、墙背回填材料及其方式、坠落岩块冲击荷载的大小等因素所决定。

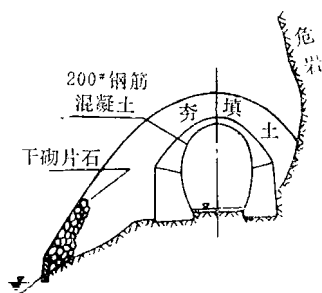


图 4

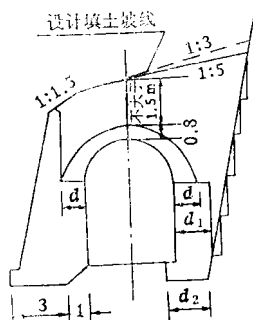


图 5

图 6 为不对称路堑拱式明洞。它适合于两侧边坡不对称，岩层较破碎，地基承载力较差的路堑地段，用于防护中型崩塌、落石、泥石流、雪崩等路基病害对线路的威胁。

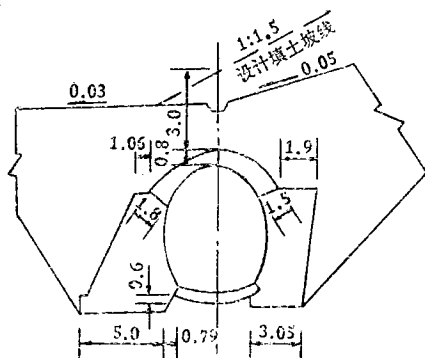


图 6

3. 单铰拱式明洞 (图 7)

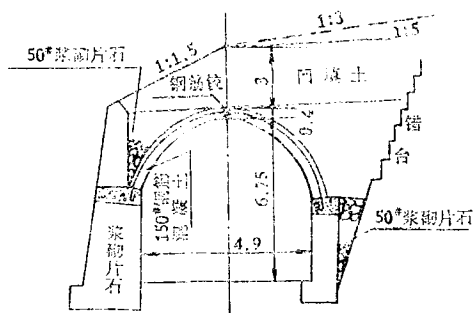


图 7

它适合于边坡岩层较好，地基承载力较高，地形陡峻，场地狭窄的半路堑地段，用于防护小型崩塌、落石、泥石流、雪崩等路基病害对线路的威胁。由于它的结构尺寸较小，圬工数量不大，在砂石料来源困难，场地受到限制的上述病害地段，采用此类明洞，具有较好的技术经济效果，是一种比较合理的结构形式。此种明洞拱顶中心设有一铰，设

计时同样从拱顶中心切开，按两个悬臂曲梁考虑（为了充分发挥钢材的作用，拱部钢筋一般要求布置在外侧），计算拱的变形时，应考虑墙基变形的影响；内边墙按弹性墙设计，外边墙按刚性墙设计。

4. 支撑拱式明洞（图 8）

当边坡岩层比较完整，距轨面不高（如小于 25 m）的倒悬危岩，被节理切割，有滑向线路的危险时，通过技术经济比较，在有充分理由的情况下，可采用支撑明洞加固。实践证明，如果使用得当，采用支撑明洞方案能获得良好的技术经济效果，且比清除方案往往更加安全、经济、合理。

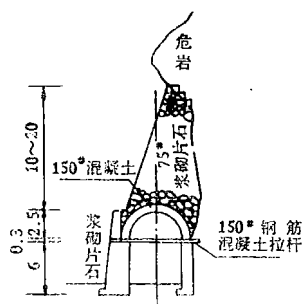


图 8

支撑明洞由带拉杆的拱、支墙和内（外）边墙组成。拉杆一端固定在边墙上，另一端锚固在较完整的坚固基岩上，其锚固深度视危岩下滑力、地基稳固程度而定，拉杆距轨面的高度应满足建筑限界的要求。

5. 特殊基础拱式明洞

当岩层倾斜很大，或外侧基岩起伏极大，有些地段不能为明洞外边墙提供良好的地基，此时为了防护小型崩塌、落石、雪崩等路基病害对路线的威胁，可采用特殊基础拱式明洞，如长腿明洞、钢筋混凝土简支或连续基础梁明洞、钢筋混凝土拱跨基础明洞等特殊基础拱式明洞。该类明洞适合于

边坡岩层较好（侧压力较小）、地基承载力较高，外侧坚固可靠的岩层陡峻，场地狭窄，基岩深度较大的半路堑地段，用于承受小型崩坠岩块的冲击荷载。

图 9 为长腿明洞。长腿最下层基础宽度 b 应等于或大于 $1.5 \sim 2 \text{ m}$ ；台阶最陡尺寸不得超过 $2:1$ ；为了增加明洞的稳定性，墙底设有钢筋混凝土拉杆，使内外边墙加以连结；基础的深度（即长腿的高度） H 一般要求控制在 $12 \sim 18 \text{ m}$ ，否则很不经济。

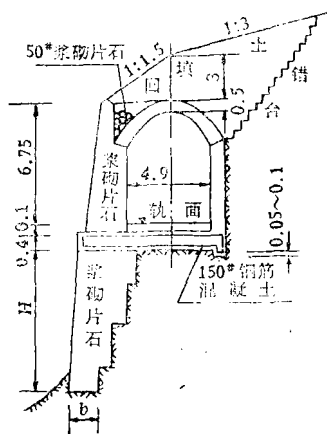
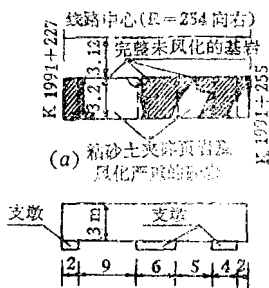


图 9

京广线某处 1962 年修建钢筋混凝土明洞时，在开挖基础的过程中发现南端长 28 m 范围内，外边墙基础下岩层的分布间断出现、起伏极大（如图 10 a 所示），如果采用长腿明洞，基础太深，很不经济，同时由于深挖将影响线路稳定和延长工期，经过综合技术经济比较后确定采用钢筋混凝土连续梁基础跨越低下的岩层地段（即选择完整、坚硬、稳定的

岩层修建支墩，然后在其上灌注钢筋混凝土基础连续梁，如图 10(b) 所示。基础梁的断面 $3 \times 3.2 \text{ m}$ ，上层和下层主筋采用 36.16 kg/m 的旧钢轨，各布置 3~9 根，用鱼尾板及电焊接长；中间设 12 kg/m 的小钢轨两层计 8 根，且用 $\phi 22 \sim 25 \text{ mm}$ 的钢筋作骨架，焊成一个整体构架，如图 11 所示，明洞外边墙便支承在此基础梁上。



(b) 明洞外边墙基础连续梁正面图

图 10

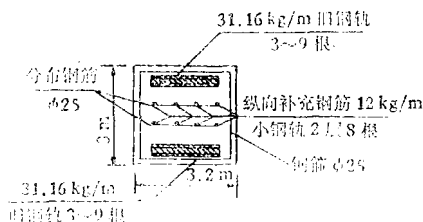


图 11

上述特殊基础拱式明洞修建后，经过长期实践考验证明，结构坚固、措施可行、效果良好。

(二) 棚洞结构的类型及其适用范围

按结构型式不同，棚洞的类型分为：盖板式棚洞；刚架式棚洞；空腹拱式棚洞；悬臂式棚洞。

棚洞只能承受崩坠体的小量冲击荷载，因此设计时首先要查清山体压力的大小，及可能发生的崩坠体的数量，否则，可能造成严重的后患。如宝成线罗妙真棚洞，建成后不久被大型崩塌所摧毁，就是一个深刻的教训。