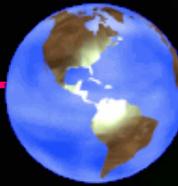




应对天山果子沟公路雪崩灾害 防治案例分析研究

中国·新疆交通科学研究院
刘健 研究员
2016年5月





目 录



一、项目背景



二、雪崩成因及机理



三、雪崩力学及运动规律



四、雪崩的防治措施及原则



五、工程应用案例

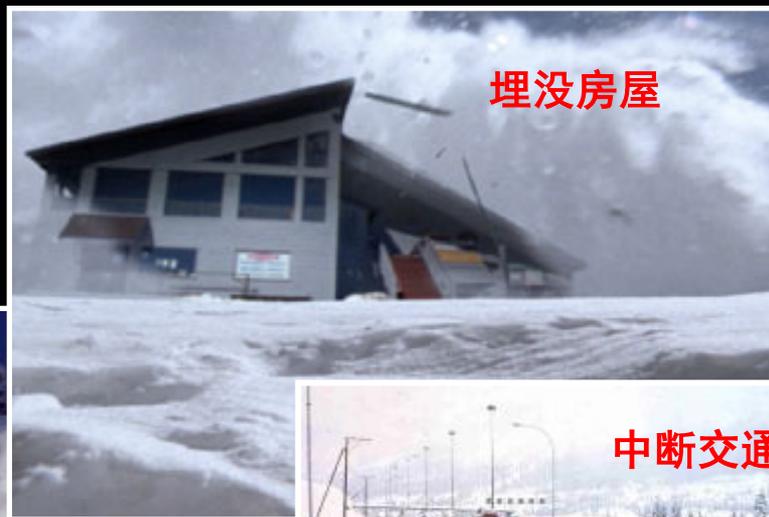


六、工程效益观测

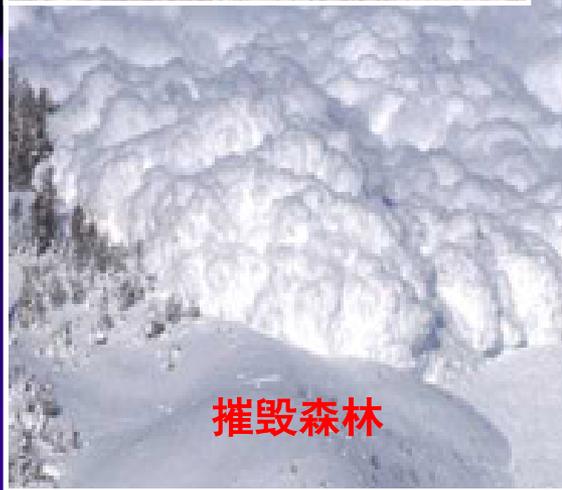


1、项目背景—雪崩危害

雪崩是致命的冰雪自然灾害。它有“白色死神”之称。雪崩具有发生突然、运动速度快、崩塌量大的特点。它可以摧毁大片森林，击毁或埋没房屋、公路、交通、人命安全、基础设施和车辆等。对人类生产活动及自然环境产生很大的影响。



埋没房屋



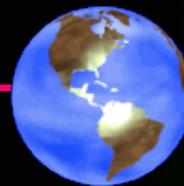
摧毁森林



摧毁车辆



中断交通



1、项目简介—雪崩危害



国道312线雪崩堆积在道路上中断交通



扫雪车清除



中断交通



铲车清除

伊犁公路总段那拉提公路段所辖路段国道217线K724-K819路段（玉希冀勒盖隧道至巴音布鲁克）为季节性通车路段，由于此段公路为山岭重丘区，山高路险，最高海拔达3000米以上，道路技术标准低，安全隐患多。每年的10月15日至第二年的6月1日基本上是大雪封山，按照以往的养护惯例，现对该段道路封闭交通，时间自2005年10月15日至2006年6月1日止。

特此通告



强制密闭交通

1、项目简介—雪崩危害



机械清除



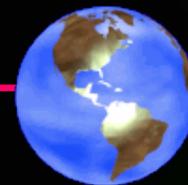
雪崩营救



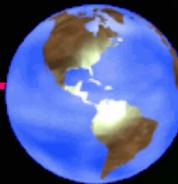
中断交通

据我们调查统计，自70年代以来，就国道312线天山果子沟路段因公路雪崩灾害伤亡人数为63人，平均每年断绝交通172小时，每次阻塞车辆11000辆，就1994年冬，K4769+560处，发生一大雪崩，雪崩量达10万 m^3 ，甘肃一面包车被埋，车内17人最后只有3人还活着，其他14人死于寒冷或窒息。

1、项目简介—雪崩危害



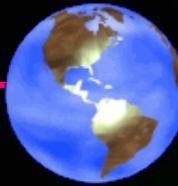
2008年3月13日10时左右，新疆西北部天山果子沟距离国道312线约13公里处发生雪崩，在果子沟内一隧道处承担西气东输二线工程施工的22名施工人员被埋，截止目前为止，共有6人获救，16人死亡。



2、雪崩成因及机理

野外勘测调研，收集发生公路雪崩的基础资料。





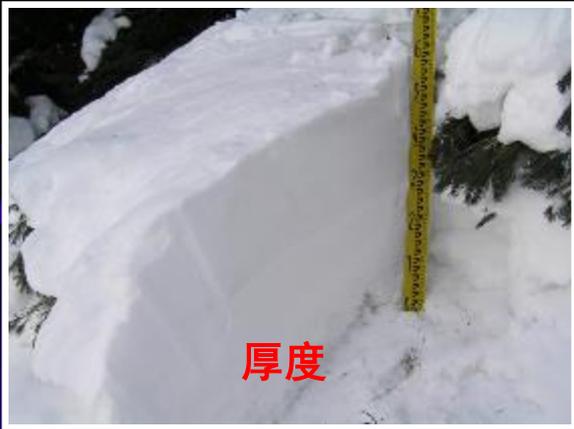
2、雪崩成因及机理

1) 公路雪崩成因

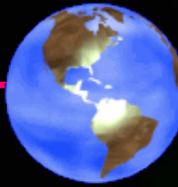
通过大量的调查、现场试验、资料分析，公路雪崩成因主要归纳为内部因素和外界因素。

内部因素

公路雪崩的发生必须具备三个基本条件：积雪厚度、山坡坡度和坡面植被状况，这些条件决定了雪崩发生的必然性。

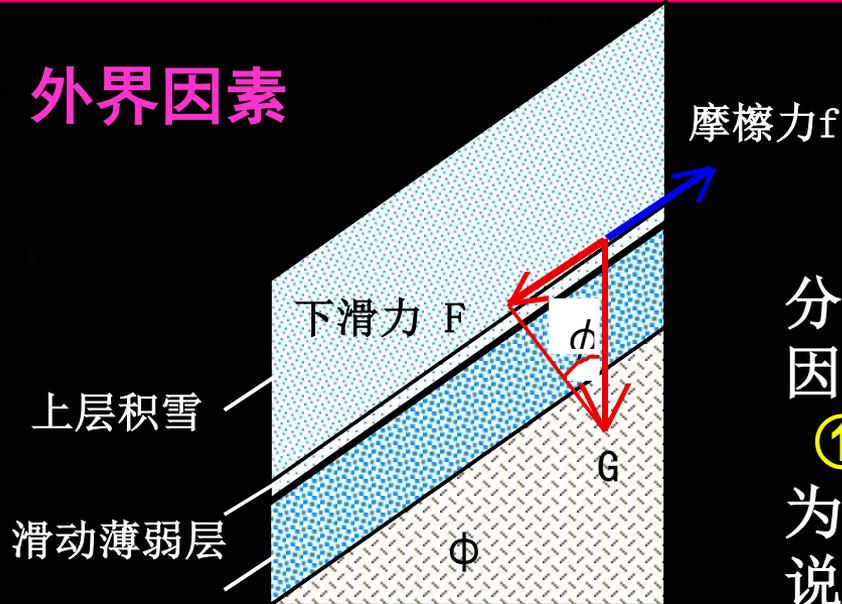


还有雪崩路径内的汇雪面积、积雪内部应力、强度抗衡、雪层结构状况等因素。



2、雪崩成因及机理

外界因素

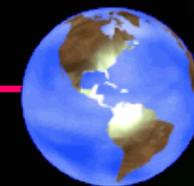


外界条件是导致雪崩活动的诱发因素。分析归纳公路雪崩发育过程中主要的诱发因素有：

①**春季融化的作用**。从作用类型上可分为渗透应力作用、物理化学作用等，而常说的春季降雪诱发因素，实际上是通过积雪的温度、密度、晶体等变化这些方式发生作用。

②**外动力作用**。主要有地震、人类工程活动等。人类工程活动对山坡积雪的破坏是通过树木砍伐、滑雪、爆破等作业，改变了山坡积雪的稳定条件或使原有的地表积雪发生重新分布变化，诱发雪崩发生。

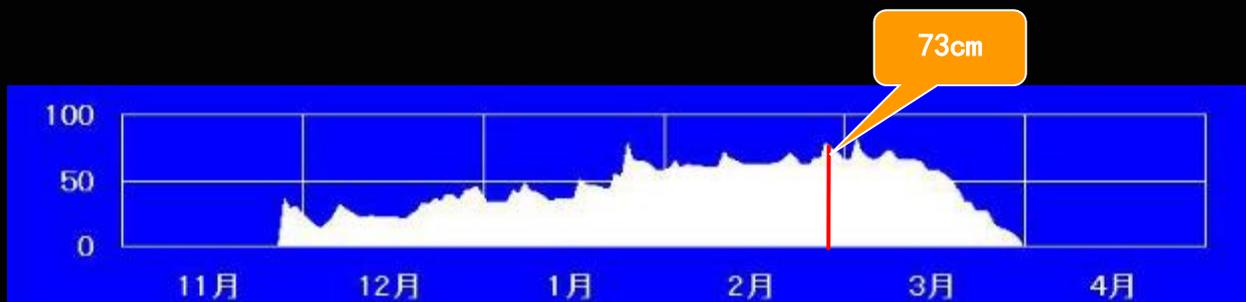




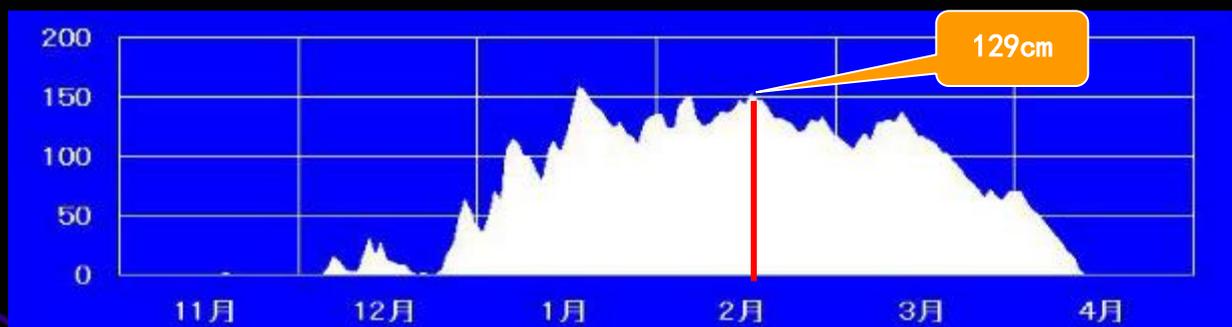
2、雪崩成因及机理

2) 山坡稳定积雪厚度临界值

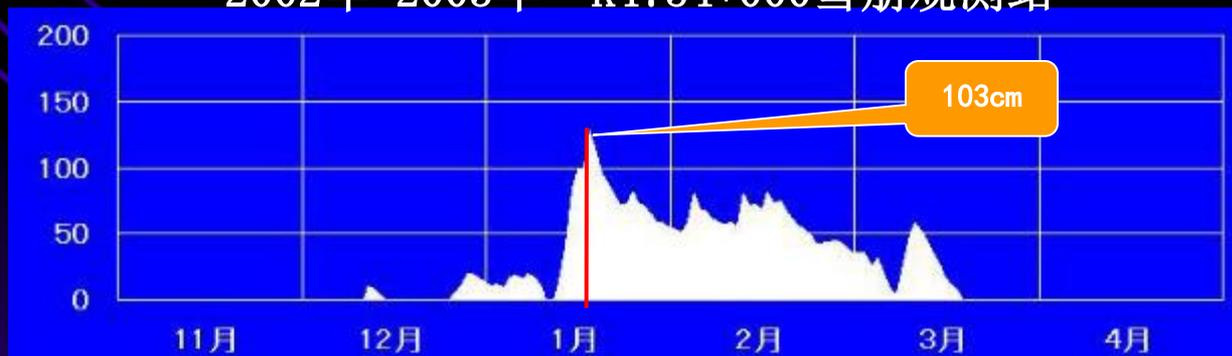
积雪厚度观测



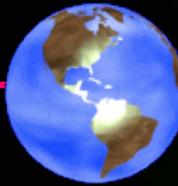
2002年-2003年 K4739+500积雪断面观测处



2002年-2003年 K4754+000雪崩观测站



2002年-2003年 K4771+000积雪断面观测处



2、雪崩成因及机理

2) 山坡稳定积雪厚度临界值

从G312线果子沟雪崩观测站1996年~ 2015年的资料得出：果子沟雪崩路段一次积雪厚度大于30cm即为雪崩发生危险临界值，积雪平均累积深度超过80cm，果子沟发生大规模的沟槽雪崩。

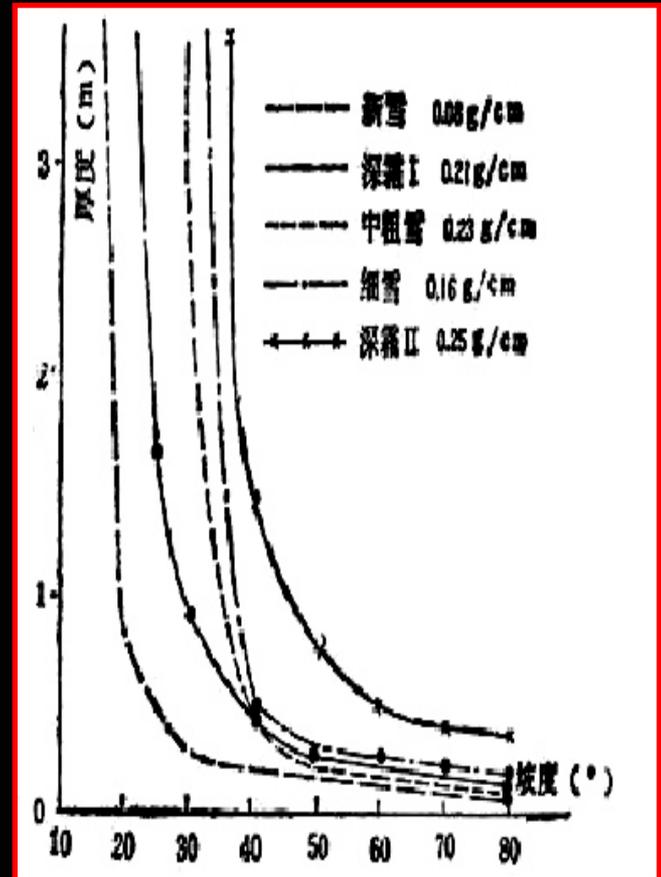
山坡积雪处于稳定状态的临界厚度我们通过斜面上积雪层的力平衡方程求出：

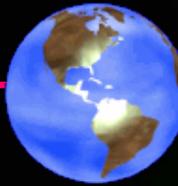
$$h_k \sin \alpha \cdot \gamma = C + F \cdot \cos \alpha \cdot \gamma$$

式中：
C：积雪层与山坡间的摩擦阻力；
 γ ：积雪层的密度 (g/cm³)；
F：积雪的内摩擦系数；
 α ：山坡坡度角 (°)。

从现场调研及以往发生的520处雪崩坡度资料通过数据回归，整理后，得到公路雪崩稳定积雪层的临界厚度 (h_k) 的计算公式：

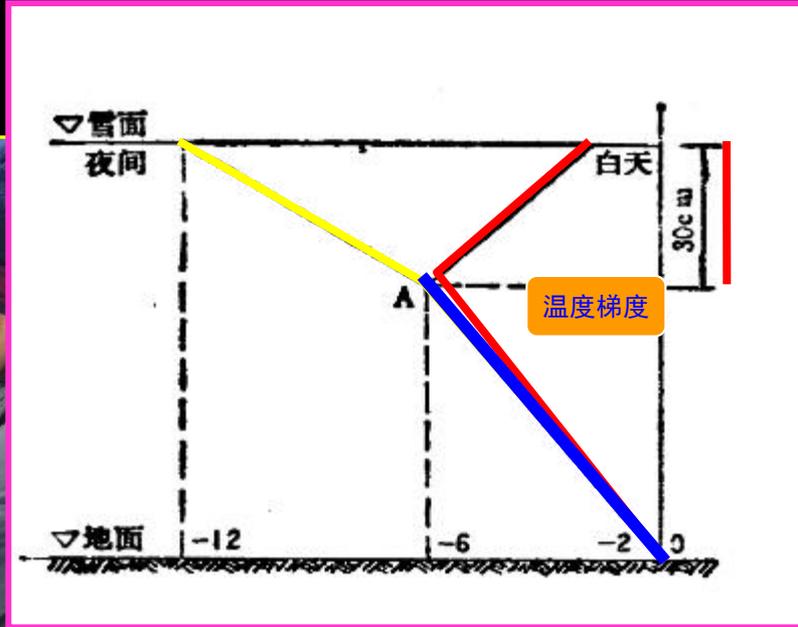
$$h_k = \frac{C}{r \sin \alpha - F \cdot \cos \alpha}$$



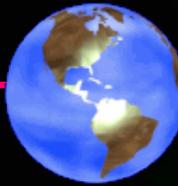


2、雪崩成因及机理

3) 雪层温度梯度值

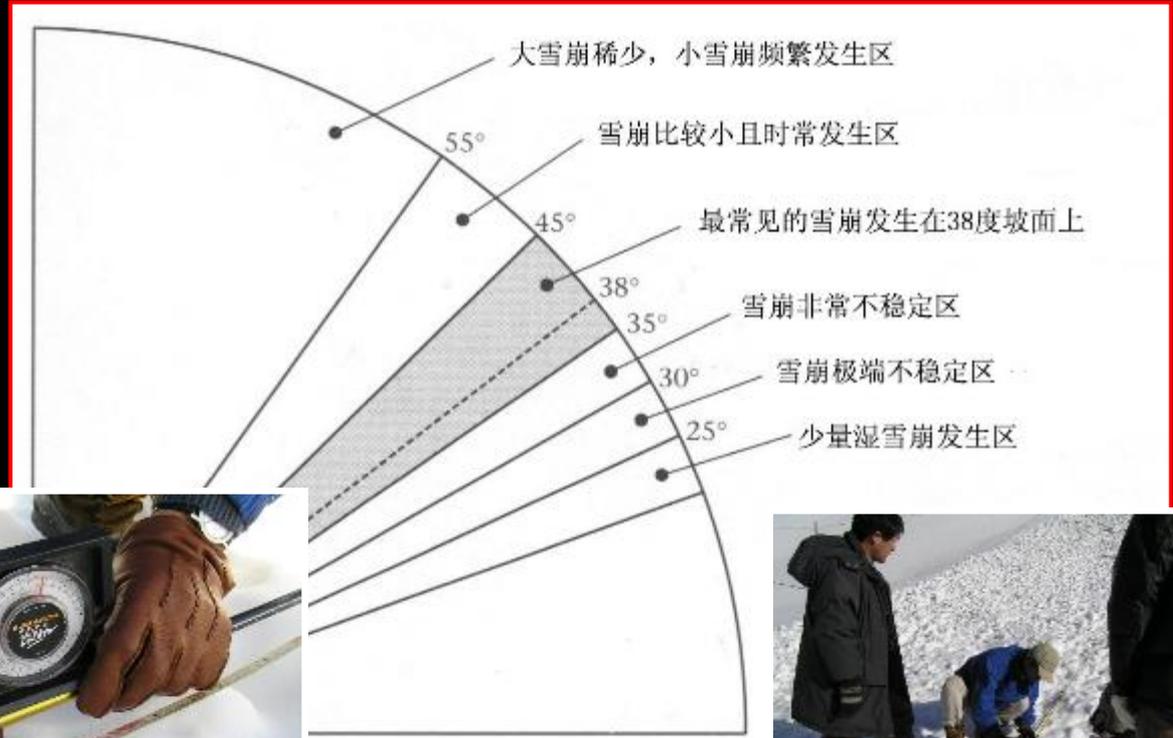


从现场检测的60个断面分析，在积雪层内部温度低于或等于 0°C 时，温度随离地面高度发生线性变化，直到离积雪表面大约30cm时，因上部受空气和太阳辐射的影响而昼夜变化不同。斜线0A表示积雪层温度梯度。我们得出**温度梯度**是雪崩雪晶体发生变化引起断裂主要因素，**此梯度值越大，越易发生雪崩。**

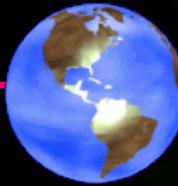


2、雪崩成因及机理

4) 易发生雪崩山坡坡度值



根据我们现场调查测量及收集的520处雪崩资料分析, 得出公路雪崩易发生山坡坡度为 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 的区间。



2、雪崩成因及机理

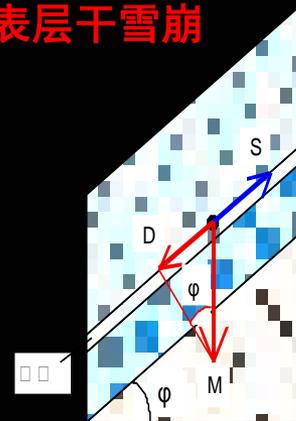
5) 公路雪崩的分类及识别方法

I 通过以往经验及实地调研，提出公路雪崩应从**集雪盆、雪崩沟槽、雪崩堆积锥、雪崩区的植物特点、访问群众**等5个方面来识别判定。

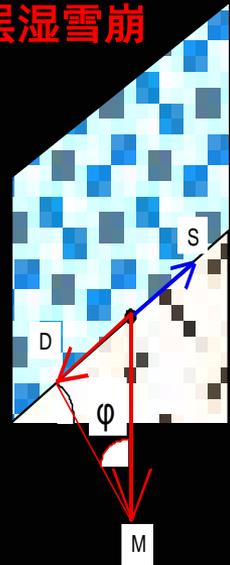
II 主要根据雪崩发生机理、滑动面的性质分为：12月-1月为**表层干雪崩**，2-3月为**全层湿雪崩**。



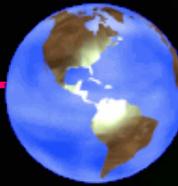
表层干雪崩



全层湿雪崩



III 归纳总结了依据雪崩**路径地貌形态、密度、湿度、物理状态**的划分的公路雪崩类型及性质。



2、雪崩成因及机理

6) 雪崩危险程度的判定和综合评价体系

根据我们现有的经验及技术条件，依据61处的积雪观测数据和卫星照片判定及现场测定的补充数据为依据归纳总结得出公路雪崩危险度评价方法体系。

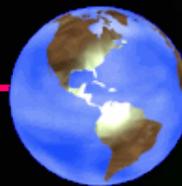
各因素的各级别评价得分

因素	级 别	评价得分
斜坡	1. 未满30	4
	2. 30~40	7
	3. 40以上	10
植被	1. 裸露地，草地树高未满2m的灌木，树冠疏密度未满20%	10
	2. 低矮的树：疏密度未满20~100% 中高大的树：疏密度未满20~50%	9
	3. 中高大的树：疏密度50%以上 高大的树：疏密度20~50%	7
	4. 高大的树：疏密度50%以上	4
积雪深度	1. 未满50cm	0
	2. 50~100cm	6
	100~200cm	7
	200cm以上	9

危险度的分级基准

危险度	得 分	评 价	备 注
A	27以上	很容易发生雪崩	处于具有一定的积雪厚度的斜面，就很容易的发生雪崩（发生率30~50%以上）
B	23~26	引发雪崩的起因一般	处于具有一定的积雪厚度的斜面，就很容易的发生雪崩（发生率10~30%以上）
C	20~22	引发雪崩的可能性小	处于具有一定的积雪厚度的斜面引发雪崩的可能性小（发生率未满10%）

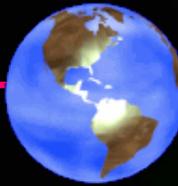
4、主要研究成果——雪崩力学性质及运动规律研究



1) 雪崩冲击力试验成果

雪崩冲击力又称雪崩冲力和雪崩压力，是雪崩动力学重要参数之一，同时与雪崩区域的公路工程建设、雪崩防治工程的设计等有直接关系，因此雪崩冲击力问题成为雪崩动力学研究与观测的核心问题。

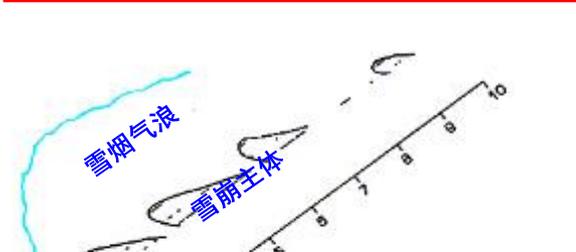




3、雪崩力学及运动规律



冲击力试验布置



冲击力测定装置

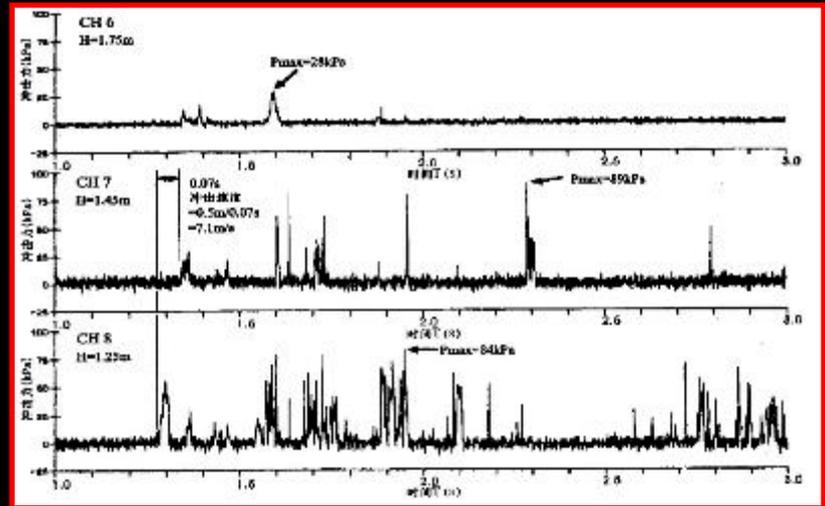


当 β 在 $20\sim 25^\circ$ 时， P 的计算值比实测值要大。

当 β 小于 25° 时， P 的计算值比实测值要小。

雪崩冲击力的大小随雪崩体高度变化而变化，最大冲击力出现在中部 **1.45m** 高度附近。

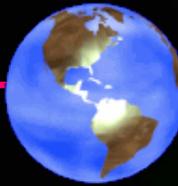
雪崩冲击力时间变化数据记录



通过试验，在经验资料分析的基础上，获得计算公路雪崩冲击力 P 的简化公式:

$$P = 2.5 \rho V \sin \beta \cdot g \cdot 10^{-3}$$

- 式中： ρ 为雪崩雪密度；
- V 为雪崩速度；
- β 为雪崩方向与障碍物之间的夹角；
- g 为重力加速度。

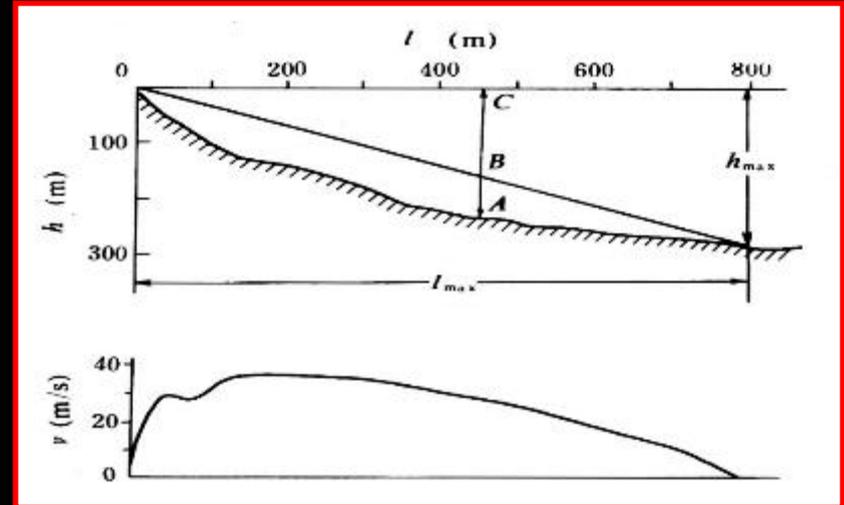
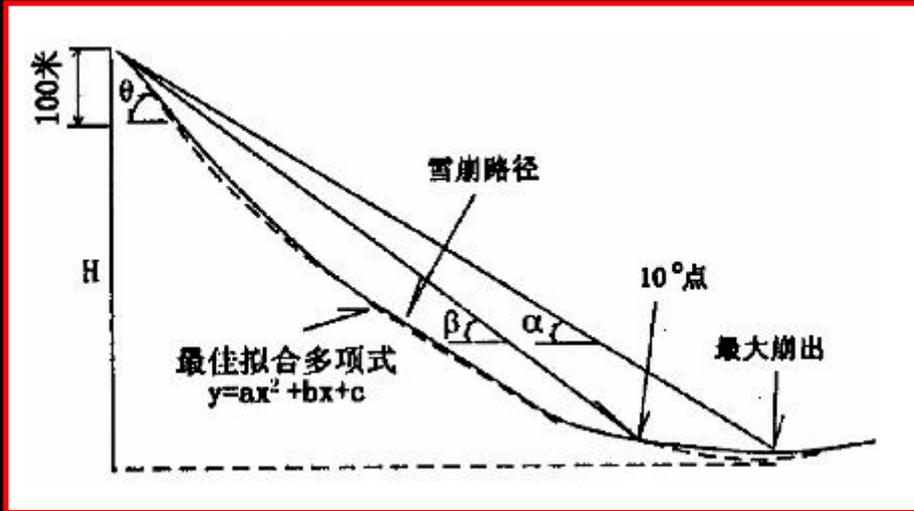


3、雪崩力学及运动规律

2) 雪崩运动最大抛程计算

用于计算雪崩抛程的地形参数

图解法修正雪崩最大抛程



利用统计方法，基于地形参数的多元回归，通过新疆天山公路206条雪崩路径的相关参数分析，得出以下回归方程：

$$L=0.928-7.9 \times 10^{-4}H+1.4 \times 10^{-2}Hy'' \theta +0.04$$

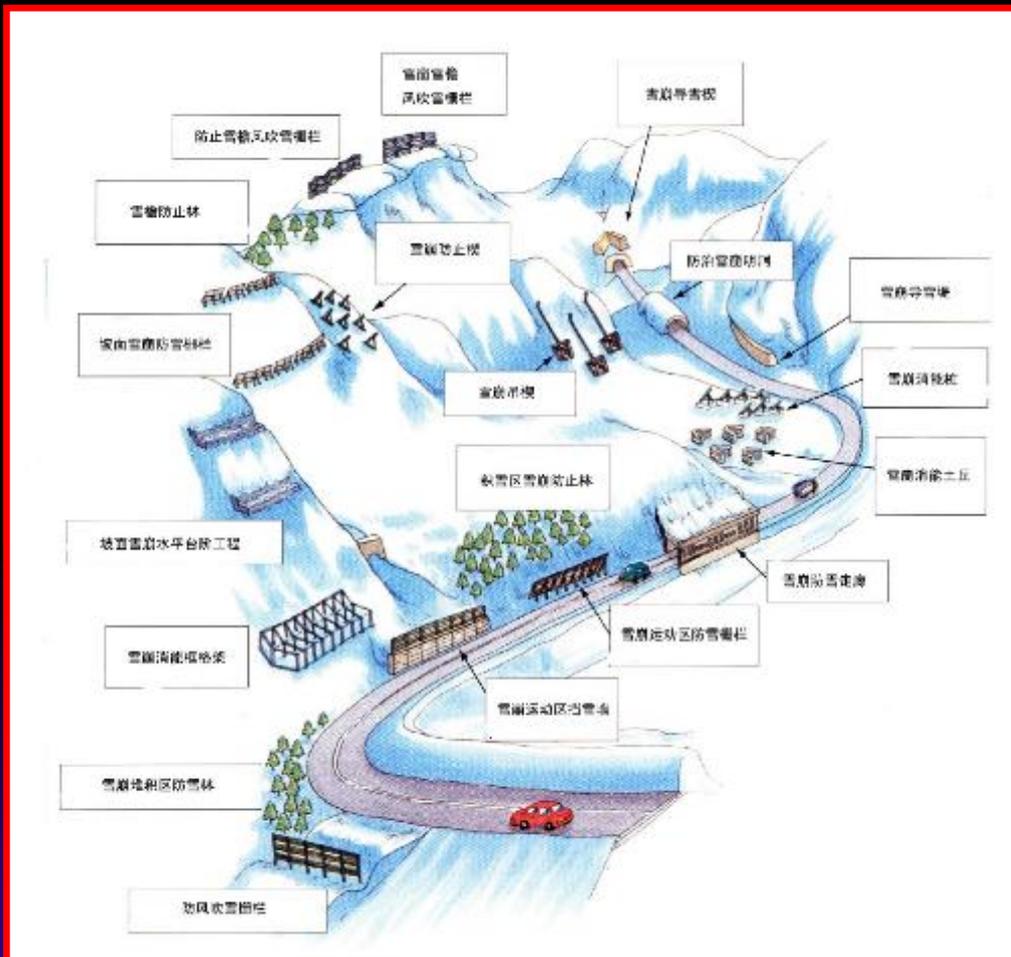
依据雪崩抛程模拟试验实测资料分析，与雪崩最大抛程的计算公式计算结果相吻合。

雪崩最大抛程的计算结果还可以用图解法给予订正。

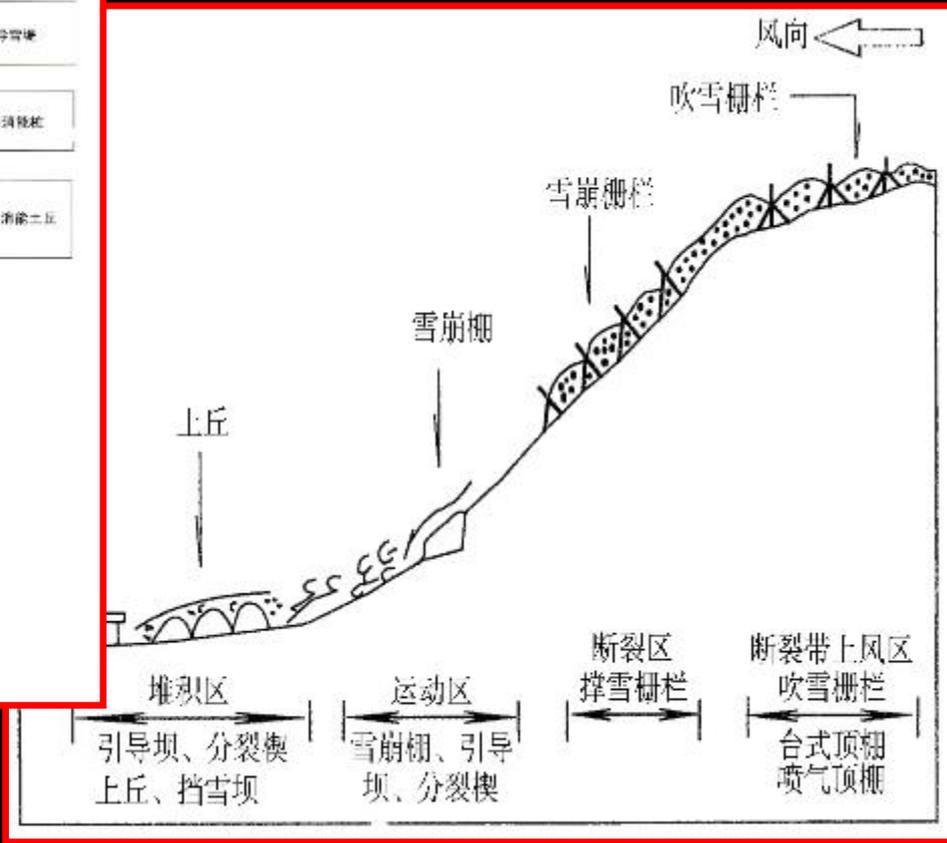


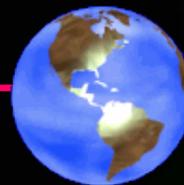
4、雪崩的防治措施及原则

公路雪崩防治工程措施综合治理类型示意图



公路雪崩防治治理措施配置原则





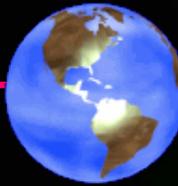
5、工程应用案例

1) 依托工程的选定与建设

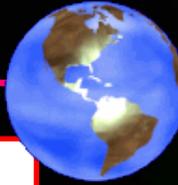
国道312线天山果子沟雪崩大小有107处、试验工程在K4750+700~K4752+200及K4769+560四处雪崩进行治疗,这4处雪崩每年都发生,对公路危害程度最大,我们采用防雪林、稳雪栅栏、挡雪坝、消能池等相组合的综合治理措施。

位置	雪崩类型	最大雪崩量(m ³)	高差/路径长度(m)	治理方案	防治效果
K4769+560	沟槽雪崩	110000	1280/2390	分段在发生区、运动区设置防雪林、消能池、挡雪坝	最好
K4750+700	沟坡雪崩	61000	630/1360	发生区: 钢板网稳雪栅栏 运动区: 钢管挡雪栅栏	好
K4751+900	沟槽雪崩	75000	710/1650	发生区: 钢管稳雪栅栏 运动区: 消能池、挡雪坝	较好
K4752+200	坡面雪崩	56000	520/1230	发生区: 钢管稳雪栅栏 运动区: 钢板稳雪栅栏	好

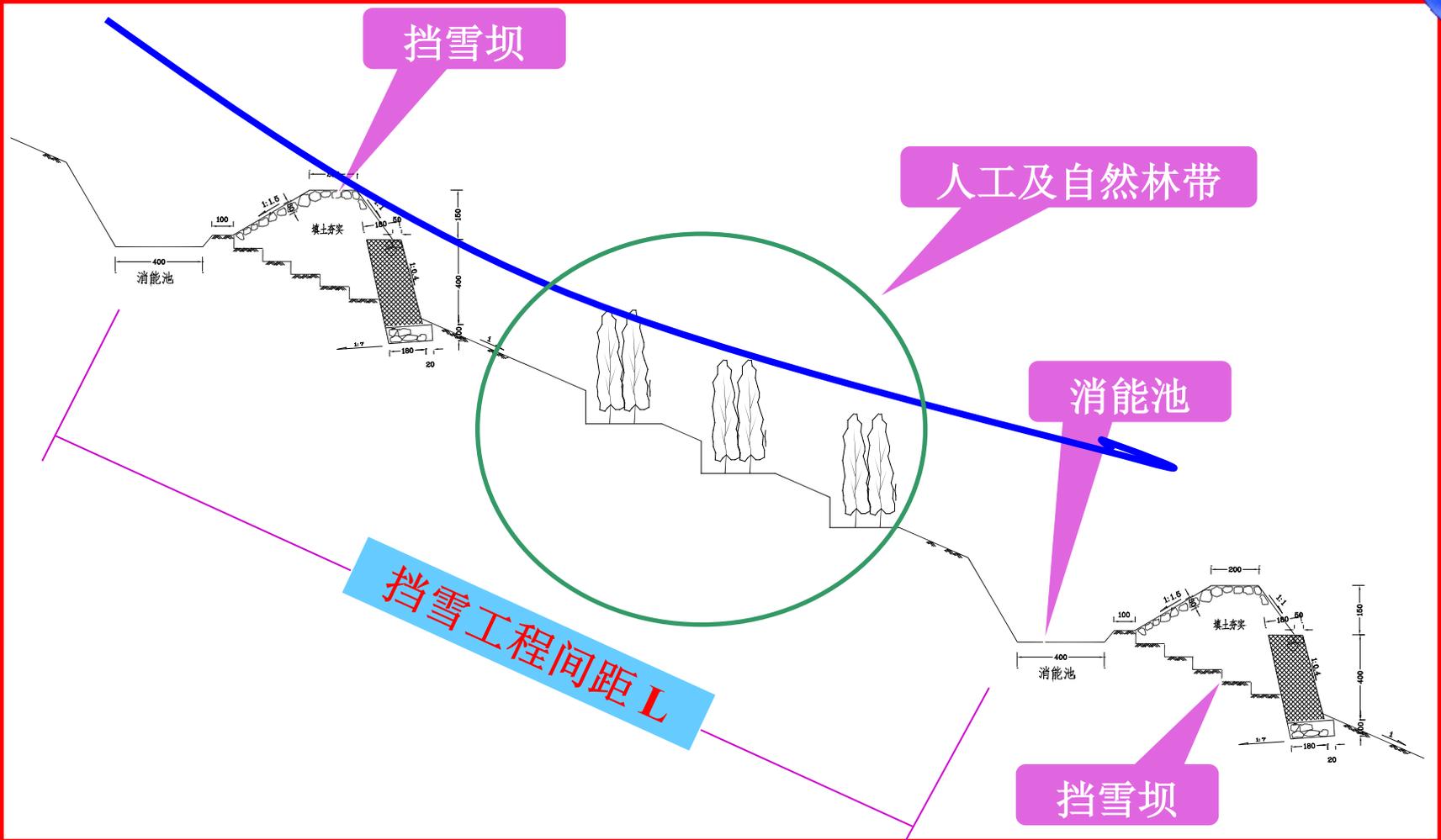
5、工程应用案例



K4769+560处雪崩属于阴坡雪崩，雪崩源地大部分呈漏斗状，集雪面积在 2.3Km^2 左右，沟槽长2400m，谷地曲折，支沟多，分陡坎，平均坡度在 36° 左右，槽后横断面成“U”形。谷壁雪崩雪运动的摔痕明显，剖蚀痕迹清晰，雪崩运动路线长，具有明显的发生区、运动区和堆积区，雪崩规模较大。

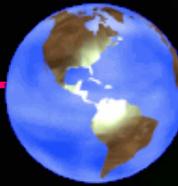


5、工程应用案例

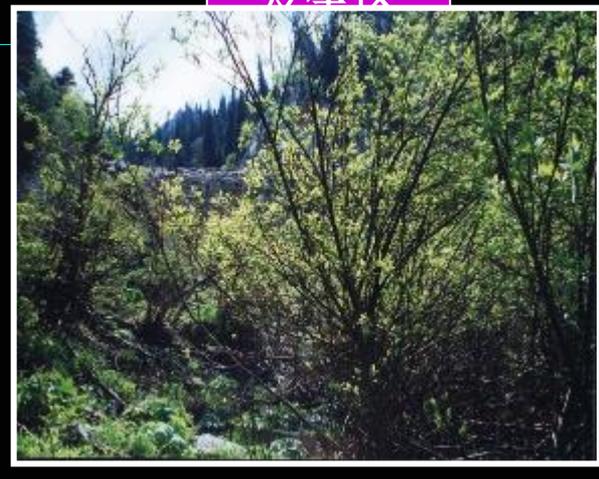
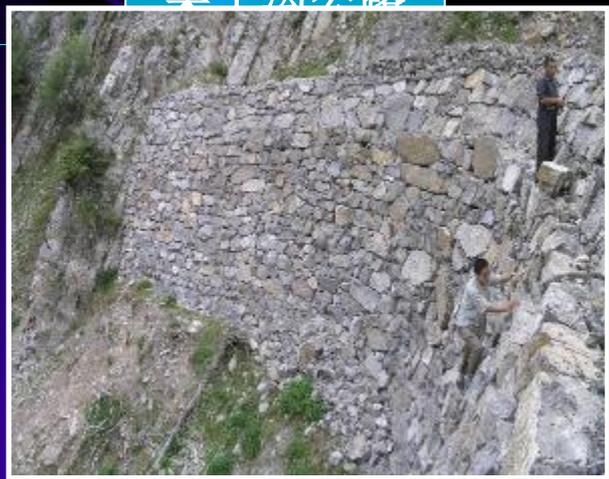
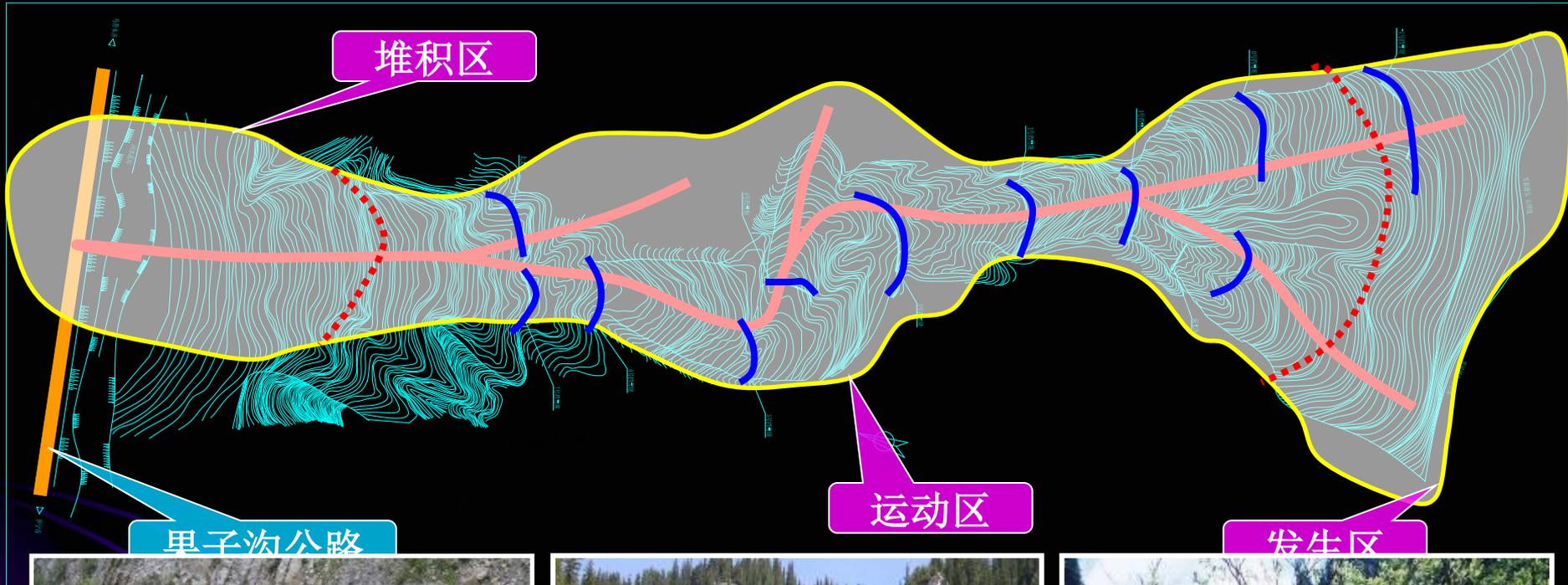


在国内外公路雪崩防治措施的调查及成因分析的基础上，首次提出和实施了变害为利、防护林、消能池、干砌工程相结合的生态环保综合防治体系。

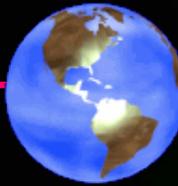
5、工程应用案例



K4769+560雪崩路径工程布置

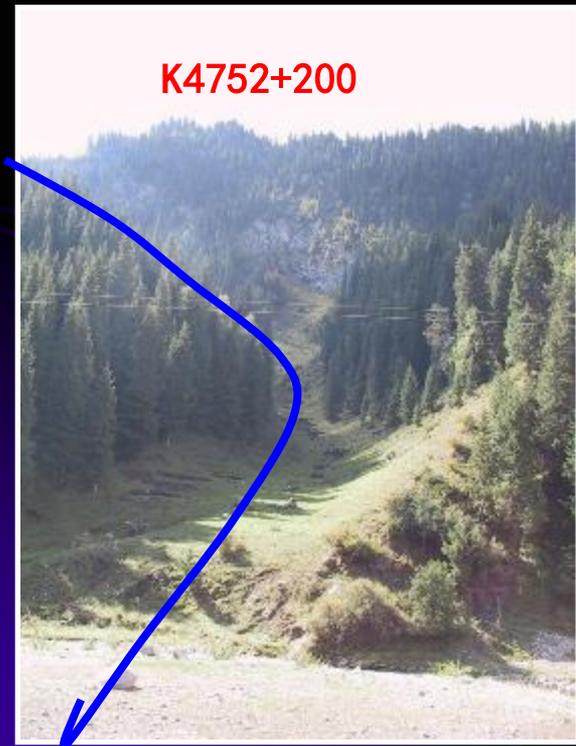


5、工程应用案例

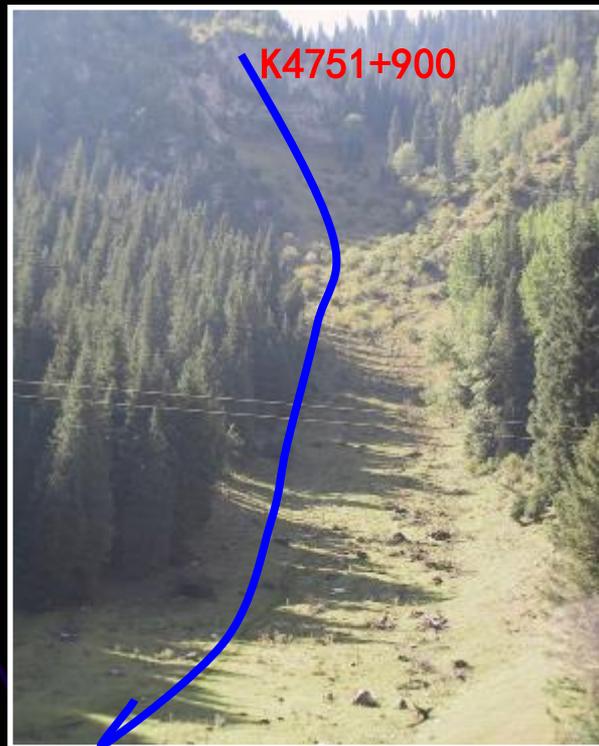


雪崩发生区距公路的高差500~1000m，其地形为上宽下窄的扇形坡面坡面平均坡度 $36^{\circ} \sim 39^{\circ}$ ，汇雪面积为大。坡面土质肥沃，土质覆盖层上薄下厚，坡面上植被生长良好，平均高度30~100cm，但只有少量树木，发生区，运动区分界不明显，每年都发生雪崩。

K4752+200

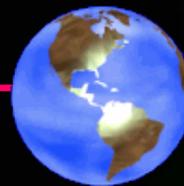


K4751+900



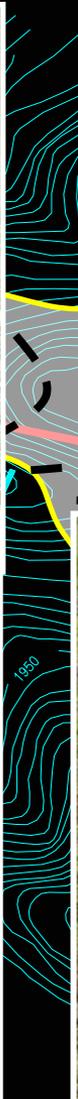
K4750+700

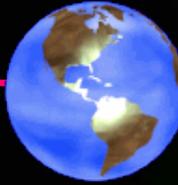




5、工程应用案例

K4750+700沟坡雪崩路径工程布设





5、工程应用案例

2) 防治工程设计依据

根据调研资料及试验工程勘察，回归得出雪崩运动区挡雪坝工程的数量及间距公式：

$$L=2k\sqrt{R^2-(R-h)^2}$$

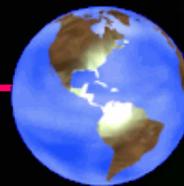
该式是一个经验公式，该公式的敏感性也比较强，其值于山坡坡度、雪的容重、内摩擦角、雪的粘聚力、雪的厚度、坡面粗糙系数有关。

利用雪崩治理经验数据回归得出雪崩发生区稳雪栅栏工程间距的计算公式：

$$L=\frac{2tg\beta}{tg\beta-tg\varphi}H$$

L-稳雪工程间距 ()； -山坡角度；

H-稳定积雪厚度 (m)； -山坡与雪的摩擦系数，取值0.5-0.7。

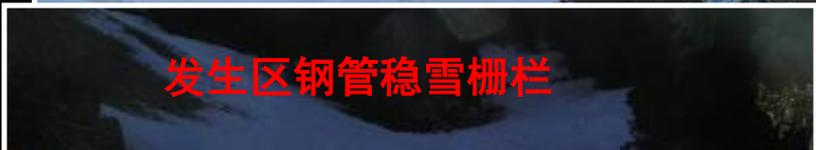


6、工程效益观测

1) 防雪效应



发生区钢板网稳雪栅栏



发生区钢管稳雪栅栏



运动区钢管稳雪栅栏



运动区钢管稳雪栅栏



运动区干砌挡雪坝



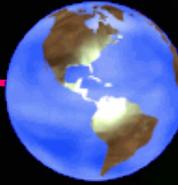
运动区干砌挡雪坝



干砌挡雪坝阻雪4.6m



干砌挡雪坝阻雪3.8m



6、工程效益观测

试验工程雪崩路段后期效益对比

**关于国道 312 线果子沟路段公路雪崩防治
试验工程的初步效益**

国道 312 线新疆果子沟公路全长 36KM，是乌鲁木齐至伊犁和霍尔果斯口岸的必经之路，日交通量大，经济意义非常重要。该路段里程号为 K4736-K4772，国道 312 线的果子沟雪崩对公路交通影响很大，如影响时间每年有 4 个月左右，严重影响对南北交通、经济等，有时还会造成人员伤亡，社会影响恶劣，造成的经济损失很大。

果子沟雪崩以红土质为代表，崩落层厚度有 25 KM，全线沿它线既有不同程度危害，但相对危害较小。据不完全统计，自 1968 年以来果子沟雪崩已造成 28 人死亡，造成死亡的主要集中在 K4750-K4772 的范围内，在祁连山内共死亡 17 人。

为彻底解决果子沟雪崩危害的问题，2002 年 12 月新疆交通科学研究所对果子沟雪崩进行了防治研究。

经过 3 年的艰苦研究，课题组基本掌握了果子沟雪崩成因及分布规律，于 2004 年 5 月提出雪崩防治初步工程设计方案，已在果子沟路段红土质雪崩危险路段实施了 4 处，分别为桩号 K4751+900、K4752+700 和 K4756+500 处。其中在祁连山雪崩

K4751+900 雪崩防治工程效益对比表

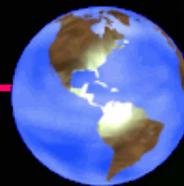
项目	实施前	实施后
雪崩次数	107	0
交通中断时间	172 小时	0 小时
受阻车辆	11000 辆	0 辆
人员伤亡	28 人	0 人
经济损失	2000 万元	0 万元

以上工程，实施后，雪崩次数、交通中断时间、受阻车辆、人员伤亡、经济损失等指标均得到显著控制，以上工程实施后，果子沟雪崩危害得到彻底治理，国道 312 线果子沟路段公路交通畅通无阻，对南北交通、经济等影响得到彻底消除，社会效益显著。

果子沟公路雪崩防治工程实施后，不仅保障了公路交通安全，而且保障了当地群众生命财产安全，为当地经济发展和人民生活提供了有力保障。该工程的成功实施，为类似雪崩路段的防治提供了宝贵经验和借鉴。

新疆公路管理局总工程师
二〇〇五年五月二日

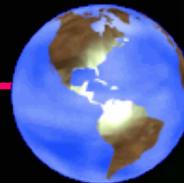
果子沟每年发生近107处雪崩，经常发生大规模的雪崩，造成交通阻塞，平均每年断绝交通172小时，每次阻塞车辆11000辆，4处试验工程为该路段危害最严重雪崩，但从2005年现场调研证实，该4处雪崩危害得到控制，未发生雪崩，而其他未治理段发生公路雪崩59处。严重影响交通运输安全。



6、工程效益观测

2) 生态环境效益





6、工程效益观测

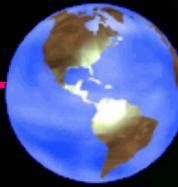
2) 生态环境效益

生态效益评价，我们根据我国林业行业标准，采用生物群落平均高及群落平均覆盖度两指标：

不同时期防护林内生物效应变化

	平均覆盖度	平均高	群落优势度	均匀度	多样性指数
施工前	0.38	3.1	0.71	0.38	1.43
施工后一年	0.67	6.5	0.82	0.51	0.7
施工后二年	0.74	7.2	0.86	0.58	0.52

生态防护林内植被覆盖度和生物量均高于施工前，说明防护林体系的建成，改善了雪崩路径小环境的水分和光照条件，营造了相对较好的小环境，增加了该区域物种的多样性。



6、工程效益观测

3) 涵养水源保持水土流失



就k4769+560一处雪崩路径综合防护体系的试验工程的实施，每年可固雪10万立方米，换算成水为3.8万立方米的水，对保持该区域土壤水分，防护林及植被的浇注等都有重要的作用。



热烈祝贺
中美安全与灾难救援协调研讨会
圆满成功!



Thank You

中国·新疆交通科学研究院

2016年5月

