

交通工程事故灾害及其 防护技术研究

Study on the Traffic Accident Disaster and the Protection Technology

周丰峻

F. J. Zhou

洛阳水利工程技术研究所

2006年10月16日

2) 安全科学所研究的事故灾害的重要特征是突发性、特殊性和灾难性。爆炸过程、洪水波和斜坡地质是产生大范围事故灾害的三种主要根源，都会对人的生命财产和公路建设产生重大的破坏作用，造成严重的社会影响，应当开展针对性的研究。

1、安全科学和防灾技术研究的重要意义

Important meaning of safety science and Disaster Prevention Technology

1.1 安全科学研究范围

Scope of study of safety science

1) 安全科学是研究自然界及人类生产活动中有一定危险性、复杂性的系统。安全科学研究事故的转换，研究危险存在性质和事故灾害发生的系统，研究危险预测及消除过程的控制。

1.2 爆炸事故灾害的特点和危害

Characteristics and Danger of Explosion Accident and Disaster

1) 爆炸是在有限体积物质中，突然产生大量能量释放，在急剧物理化学变化中产生压力突跃和气体运动，从而对周围人员目标造成杀伤破坏。爆炸事故是生产、生活、和交通运输中的主要危险。

2) 气体泄漏引起的燃烧爆炸

公路交通加油站和油库是危险品集中的地方，可燃性气体在使用、储存过程中，由于管线、设备泄漏可能引起燃烧或爆炸。如果气体泄漏同时被点燃将产生燃烧，如果泄漏持续一段时间，形成燃料空气混合气体，则点火后将产生爆炸。

3) 爆炸灾害的特点

凝聚体炸药爆炸如硝胺和TNT，其能量密度高，单位体积的含能量比燃料空气高得多，爆炸灾害的特点是突发、集中、冲击破坏严重。

表1.1 炸药和汽油含能量

物 质	单重含能量 (J/kg)	单重燃料空气 (J/kg)
煤	3.34×10^4	9190
汽油	4.18×10^4	9610
黑火药	0.29×10^4	2900
TNT	0.42×10^4	4200

密闭容器中可燃气体爆炸，其危害往往比凝聚体炸药还要大。原因之一是汽油单位质量含能比TNT要高10倍，如表1.1所示；原因之二是散布的范围很大，对人体和建筑危害严重；原因之三是燃烧转为爆轰，造成瞬时全部可燃气体爆炸。其特点是突发性强，散布灾害范围大，冲击波杀伤严重。

1.3 溃坝洪水波的巨大灾害

Huge Disaster due to Dam Breakdown Flood ware

溃坝洪水波是大坝突然溃决，水体大量涌出造成的下游地区的严重灾害。极高的水头和巨大的流量是造成洪水波危害二个重要参数；是造成防屋、桥梁、公路破坏的根本因素。只有研究洪水波的成因，洪水波的演化进程及对结构的破坏作用，才能建立起对洪水波的防护救灾措施。

1.4 斜坡地质灾害 Slope Geological Disaster

20世纪中国由于大滑坡造成的死亡人数高达18万人 (B. W. Murck)，崩塌、滑坡和泥石流造成了大量人员伤亡和财产损失，阻塞交通。在山区地震引发的滑坡会在河流中形成堰塞湖，如果阻塞岩石坝溃决，会导致下游的重大事故灾难。

2.1 天气不好引起的事故

Traffic Accident due to Bad weather (Fog Rain snow)

大雾天气造成撞车事故。

1993年4月30日晨，一列货物车列车在长春至大连间大石桥一个无人看守道口处，与通过该道口的大客车相撞，亡35人，伤36人。当时天降大雾，能见度很差，大客车未按规定下车观察，停车了望的规定，以致肇事，同时也说明路口管理，非常落后，必须改建。

2 引发大规模交通事故的工程技术原因和实例 The engineering caution and example caused traffic accident

造成大规模交通事故原因，有雾雨雪天气、爆炸、工程施工、洪水波和斜坡地质5个方面。

2.2、爆炸引发的交通事故

Traffic Accident due to Explosion

(1) 雷管箱超高装载造成恶性爆炸事故 Traffic Accident due to over-height of Detonator Box

1994年10月23日，西安一辆装载140箱雷管的载货汽车，行驶309国道在山东平度市洪山乡政府附近，因雷管箱散落撞击地面引起全部雷管爆炸。爆炸造成亡5人，伤95人。爆炸造成直径6m、深2m爆坑，建筑民宅严重破坏，通讯供电中断，爆炸当量为1tTNT。是民用爆炸运输环节管理不善造成的。

(2) 处理车辆相撞事故引发的爆炸特大事故
Traffic Accident due to Improper Treatment
of Truck Crash

1999年12月28日，安徽巢湖一辆大客车与装有危险爆炸物品的货车交会时相撞，致使货车发动机底部起火，附近村民赶赴现场抢救。抢救过程中，货车上的导火索雷管爆炸，使抢救人员造成死亡20人，伤57人的恶性事故。

运输危险品时，导火索和雷管同时装运违反了危险品爆炸品运输规定。

2.3 公路工程施工质量差引发的事故
Traffic Accident due to Bad Quality
of Highway Construction

(1) 公路路肩质量差，造成翻车事故
Over-turn due to Bad Quality of Highway Edge

1997年6月19日上午，贵州仁怀市一辆大客车与一辆东风大货车会车时，由于路面狭窄，没有采取停车避让措施，而是强行通过，以致于重车压跨路肩，造成大客车倾覆，翻下到48m深谷亡32人，伤26人。

公路路面，越是在坡度陡，弯道急的地方，越是路面狭窄，势必酿成事故。

(3) 油库火灾爆炸事故
Traffic Accident due to fire Disaster in oil Tank

黄岛油库雷击感应火花引爆油气特大火灾事故

1989年8月12日上午，黄岛5#混凝土油罐雷击感应火花到燃油罐油气爆炸起火，5小时后喷溅油火引起4号、3号、1号油罐共8万多吨油气爆炸。在灭火中有16名消防队员牺牲。

黄岛混凝土油库，施工质量差，油罐内部油气孔、消防管线、外露钢筋繁杂，极易受雷电感应，产生放电火花，混凝土罐顶拱板易产生裂缝，并有通气孔泄压，会造成大量泄露油气，泄露油气则会引起爆炸。

(2) 漫水路段冒险行车造成车辆坠河事故
Falling into water due to Risky
Driving through over-flow highway

1997年7月8日下午，万县大客车载客62人，车行至环城路穿越水深0.4m漫水路段时，驶出路外，坠入河中。亡15人、失踪18人。

在路面漫水后，路标不清楚，又没有探明道路状况，以致客车坠入河中。漫水路面，不属于正常运行路面，漫水期间必须停运，必须将漫水路面改为桥面。

3.3 大桥维修施工处置不当酿成客车坠江特大事故 Bus Falling into water due to Improper treatment during Bridge Repair

2000年7月7月22时，在强风暴后，柳州一辆大客车在驶过壶东大桥时，碰上置放于路面的水泥隔离墩，客车急转撞断大桥北护栏，以致客车翻入柳江，造成车上79人全部死亡特大事故。

这个事故在全国交通事故中具有典型性。

原订施工内容是进行大桥伸缩缝施工，由于材料供应推迟了17天；施工工人擅自采用5个水泥隔离墩放在道路正中，充作临时隔离道路使用；施工现场无人值守，以致于为了解决交通安全问题进行的施工，竟成为造成交通安全大患的主要原因。

垮坝事故造成288人死亡，毁房2900间，冲毁道路26.3km，公路桥梁3座。

临近水库区域的公路的安全和大坝的安全具有极密切的关系。不建立库区安全和公路安全管理体系的联系，没有防洪措施的公路，公路安全不会有全面的保障。

2.4 洪水波引发的交通事故和灾害 Traffic Accident and Disaster due to flood wave

(1) 青海共和县沟后水库垮坝毁路事故 Dam Breakdown and Road Damage in Qinghai Province

1993年8月27日晚22时，共和县沟后水库发生垮坝事故，大坝失事主要是由于钢筋混凝土面板漏水和坝体排水不畅引起的。混凝土面板施工后发现贯穿性蜂窝；面板分缝的止水脱落；水平防渗板裂缝很多。导致面板漏水浸润坝体。坝体排水不畅造成浸润线上移，以致于导致坝体塌陷垮掉。

(2) 西南西藏地区大型山体滑坡导致巨大交通灾难 Traffic Disaster due to large mountain landslide in Tibet

2000年4月9日，西藏林芝地区易贡藏布河发生3亿立方米的超大型滑坡，致使县乡交通完全中断，4000人被困。滑坡体堵塞易贡藏布河主河道提升水位高达36m，库容30亿立方米，2个月后于6月11日滑坡堆积成的块石坝突然溃决，造成下游3座桥梁被毁，公路全部断绝。下泄洪水经雅鲁藏布江流入印度境内，造成的洪水使许多印度人淹亡。巨大滑坡造成的灾害十分严重。

(3) 长江沿岸大型滑坡给航运造成灾难
Disaster in Yangtse River due to
Bank landslide

1985年6月12日凌晨，三峡西陵峡北岸发生新滩大滑坡，滑坡体积3000万立方米，其200万立方米岩石滑入江后激起高达54m涌浪，摧毁11艘船只，亡10人，停航12天。滑坡区1千多村民在武警组织下全部安全撤离，滑坡预报工作作的很好，没有造成更大的灾难。

2.5 大型地质滑坡引发的灾害
Disaster due to large Geological landslide

(1) 陡坡山体滑坡崩塌对公路危害
Highway Damage due to steep slope
mountain slide and collapse

1974年7月14日，重庆嘉陵江南岸北温泉公园发生滑坡岩崩，石方量约3500m³。滑坡导致山坡地面裂缝宽达半米，失稳造成巨大块石群崩落，顺坡而下堵塞公路，中断交通几十天，亡5人。对于公路上方山坡不稳山体必须采用加固措施，以免突发山崩引起的交通事故。

(4) 滑坡次生洪水灾害造成更为严重的损失

Serious Damage due to flood disaster
caused by landslide

1967年6月8日，四川雅袭江边滑坡没有直接损失，但6800万立方米土石滑入江中，却形成了355m高的涌浪，涌浪翻过坝顶，突生洪水将邻近房屋、公路、桥梁全部摧毁，造成十分严重的灾害。

(2) 高速远程大滑坡摧毁公路和村庄
High-velocity and long-distance
landslide Damaging highway and village

1983年3月7日，甘肃东乡县山区发生高速远程大滑坡，滑坡体达5000万立方米，全过程仅2分钟，滑速高达20m/s，摧毁公路和3个村庄，死亡237人。滑坡灾害规模特别巨大。

(3) 泥石流对铁路交通的危害

Mud-Rock flow Damaging Railway

1981年7月9日，四川甘洛一座山沟由于强降雨引发猛烈的泥石流，冲毁铁路大桥，29万立方米泥石流阻断大渡河，颠覆了一列火车，使2个车头、3节车厢坠入沟中，死亡300人，停车16天。造成危害十分严重，是铁路史上最惨重的灾害。

(1) TNT球形装药爆炸波计算

Blast wave calculation of spherical TNT charge

无量纲化流体动力学方程，引入真实空气和炸药状态方程以及相应的声速之后，其形式为

$$\frac{\partial \pi}{\partial \tau} + \gamma_0 \lambda^2 \eta^2 c^2 \frac{\partial \beta}{\partial x} + \frac{2\gamma_0 \beta \eta c^2}{\lambda} = 0$$
$$\frac{\partial \beta}{\partial \tau} + \frac{\lambda^2}{\gamma_0} \frac{\partial \pi}{\partial x} = 0$$

3 爆炸、洪水波及滑坡防护

Explosion、Flood wave and landslide Protection

3.1 TNT爆炸波理论

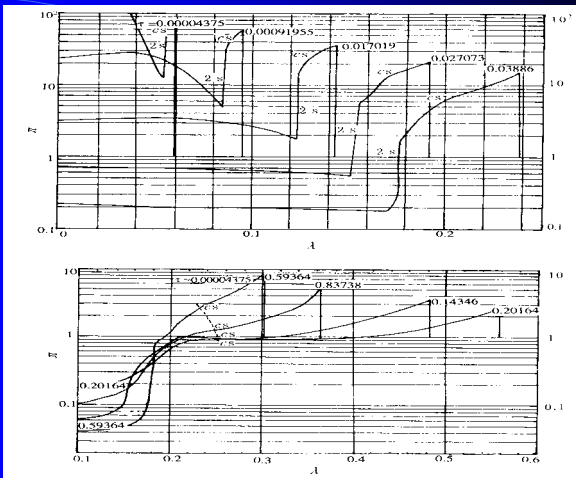
TNT Blast wave Theory

TNT装药爆炸的反应温度仅为3000K，化学反应完成后的爆轰气体产物与空气之间存在一个温度相差10倍以上、密度相差1000倍以上的接触间断面。它使TNT化学爆炸的物理特征表现了波系的多变性：在近区有空气中的主激波和接触间断引起的爆轰产物中的次激波，主激波后爆轰产物压力要远大于主激波压力。

$$\frac{\partial \lambda}{\partial \tau} - \beta = 0$$

$$V = \frac{1}{\eta} = \lambda^2 \frac{\partial \lambda}{\partial x}$$
$$c = c(\pi, \eta)$$

将上述方程组以激波半径为单位进行激波变换，然后可以用二阶隐式格式激波装配法求解。



(2) 真实空气冲击波规则反射和非规则反射 Regular reflection and Irregular reflection of real air shock wave

近区空气冲击波主要特征是冲击波超压很高，在这种高超压下空气状态方程已经不满足理想气体方程；同时在高超压下，冲击波的不定常特征更为显著，因此考虑真实空气性质和不定常冲击波对反射过程影响的控制条件变得非常重要。

TNT炸药爆炸多变的激波波系及其物理特征

- 1) 爆炸主激波的运动 TNT爆轰完成后，间断产生分解，向空气中传入的初始主激波超压约为50MPa。
- 2) 在近区主激波后有爆轰产物的高压存在，压力值比激波压高得多。
- 3) 接触间断分解后内传的稀疏波，在球对称收敛运动的条件下，发展为强度迅速增长的二次激波。
- 4) 主激波和二次激波经爆心撞击反射之后向外运动，二次激波的传播速度以远比主激波为低的速度减慢下来，进入了主激波的负相区，继续追随主激波运动。

- Von Neumann和Polachek对于理想气体规则反射给出了精确解，随后陈志林研究员给出了小坡角条件下冲击波马赫反射解析解。以上述理论为基础，可以构建大范围真实空气冲击波规则反射和非规则过渡反射与马赫反射理论。

1) 真实空气冲击波

Real Air shock wave

当空气温度 $T \geq 2000\text{K}$ 或冲击波超压 $\Delta P \geq 4\text{MPa}$ 时，其空气状态不再满足理想气体状态方程。随着温度与压力的升高，空气分子开始产生化学反应，空气中的氮氧开始离解，在升高后的不同温度下空气有不同的组分。当温度升高到 8000K 以上，空气原子可以产生电离反应，使空气组分变得更加复杂。

Brode 则根据这类表格建立了真实空气拟合的状态方程式。

3) 真实空气冲击波规则反射

Regular reflection of real air shock wave

规则反射方程

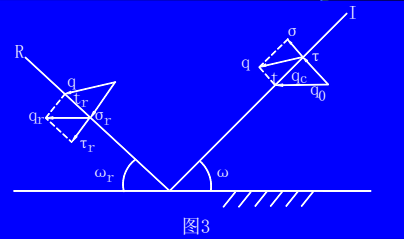


图3

动坐标系观察，入射波前气流速度 q_0 ，入射波后气流速度 q ，反射波后气流速度 q_r ， q_0 与 q_r 平行壁面。通过 q_0 ， q ， q_r 分解，可以建立诸量运动学几何关系

2) 真实空气状态方程

Real Air Equation of state

拟合空气状态方程，以无量纲解析形式表示

$$e = \frac{1}{2} Z(\mu - 1)$$

$$T = Zv$$

$$\mu = \mu_0(Z) + \mu_1(Z)l_n \rho$$

$$Z = \frac{P}{\rho}$$

可建立规则反射方程：

$$(\sigma_r - \tau_r)^2 \sigma_r^2 - (\sigma_r^2 - \tau_r^2)(\tau - \sigma)^2 \cos^2 \omega -$$

$$(\sigma_r - \tau_r)^2 (\sigma^2 + \tau^2 \cot^2 \omega) + (\tau - \sigma)^2 \cos^2 \omega (\sigma^2 + \tau^2 \cot^2 \omega) = 0$$

在我们取入、反射激波后绝热指数相等条件下，可以化简为：

$$\frac{(\xi_r - 1)^2}{\gamma^2} - \frac{2(\xi_r^2 - 1)}{(\gamma + 1)\xi_r + (\gamma - 1)} A_1 - \frac{2(\xi_r - 1)^2}{\gamma((\gamma + 1)\xi_r(\gamma - 1))} A_2 + A_1 A_2 = 0$$

4) 规则反射极限角、声线角

Extreme Angle and sonic Angle of regular reflection

根据规则反射方程可以导出真实空气规则反射极限角方程为

$$A_e \sin^6 \omega_e - B_e \sin^4 \omega_e - C_e \sin^2 \omega_e - D_e = 0$$

用Newton迭代法可解出规则反射极限角或其反射超压与入射超压的关系。即

$$\Delta P_r = \Delta P_r(\Delta P)$$

$$\omega_e = \omega_e(\Delta P)$$

5) 马赫反射区

Mach Reflection Region

马赫反射区超压计算统一按三项式理论进行，并按声线角、低杆马赫反射起始角条件和半球反射条件，分别控制边界：

$$\Delta P_r = \Delta P (a_p + b_p \alpha + c_p \alpha^3)$$

式中 ω 为入射角， $\alpha = 90^\circ - \omega$ ， $a_p = \frac{\Delta P_{rh}}{\Delta P}$ 按半球反射条件确定。

规则反射声线角关系式根据反射波后扰动追上入、反射波水平移动速度条件确定，满足：

$$u + C = \frac{U}{\sin \omega}$$

建立声线角方程为：

$$\sigma_r^6 - (3 + A_s \cos^2 \omega) \sigma_r^4 + (3 + B_s \cos^2 \omega) \sigma_r^2 - 1 = 0$$

由此给出声线角：

$$\omega_s = f(\Delta P)$$

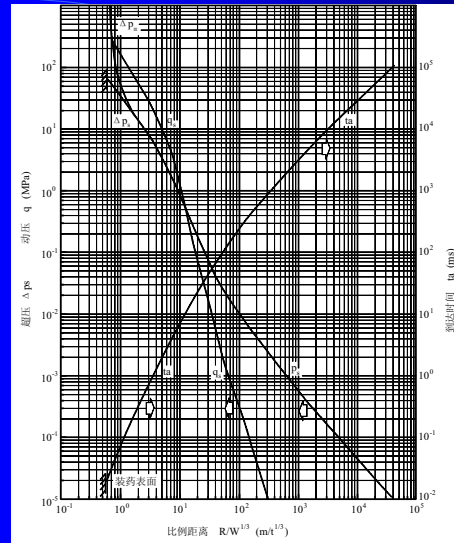
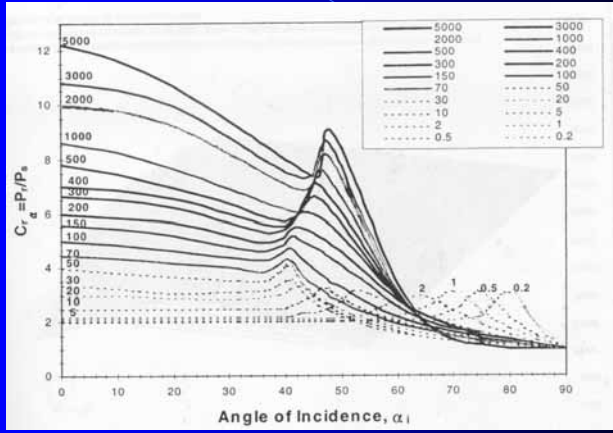
$$\Delta P_{rs} = f(\Delta P)$$

6) 计算结果和结论

Calculation Results and Conclusions

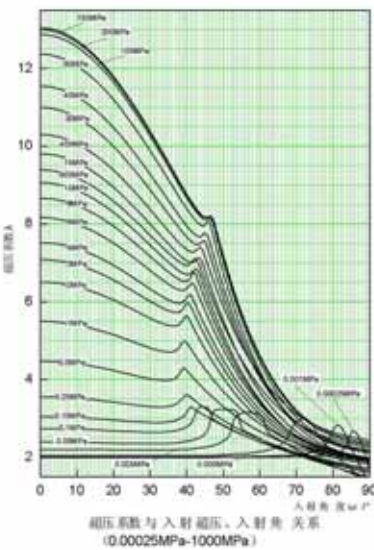
根据严格的真实空气正反射方程计算得到真实空气反射超压和理想气体反射超压有重大区别。在高入射超压条件下，真实空气反射超压与入射超压之比可以达到13，远远超过了理想气体反射极限超压比为8的结果。

2001年Chock 和WES (TM5-855-1)
给出的范围35MPa—0.0014MPa。



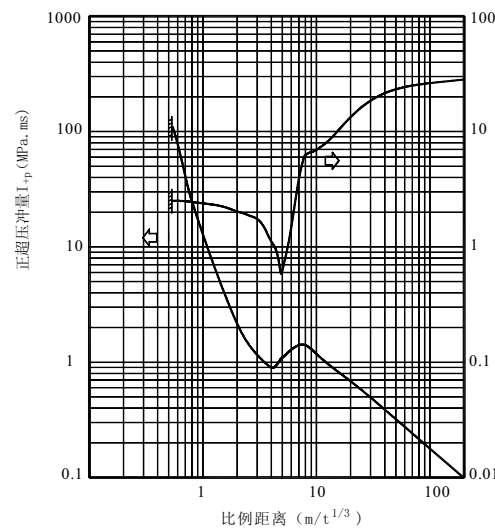
TNT爆炸具有超压
双波结构，近区冲
击波后最大超压值，
可以远远超过
100MPa，有很强的
破坏力。

Overpressure
dynamic pressure
and arrived time
versus distance



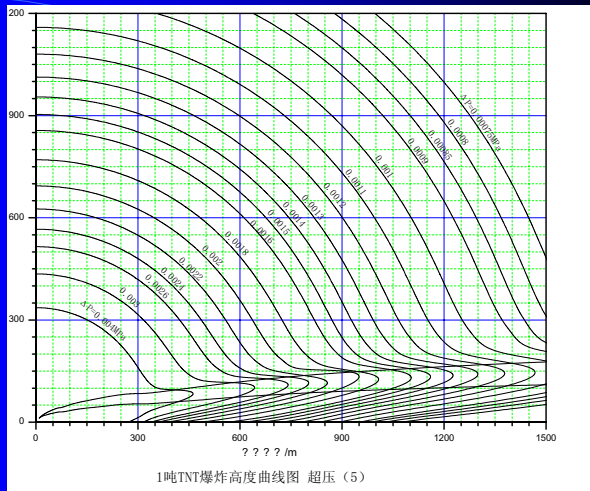
规则反射和非规则反
射的超压反射系数

Coefficient of
overpressure
Reflection versus
incident angle



TNT爆炸近区冲
击波正压时间与
超压冲量值。

Overpressure
Impulse and
positive Pressure
duration of
close-in shock
wave



Overpressure curves of Burst-Heights

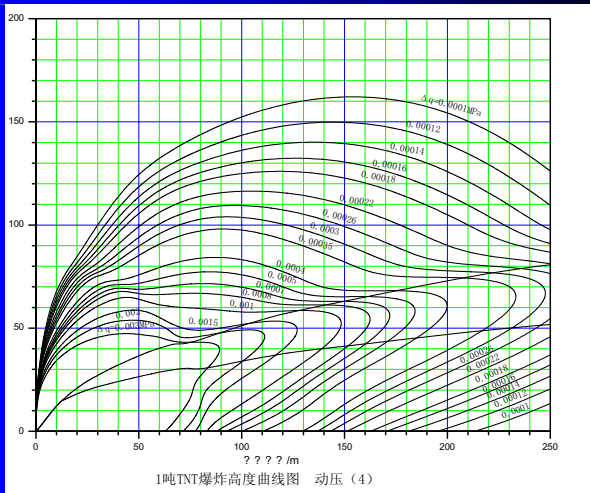
3.2 洪水波减灾与防护研究

Study on Flood wave Disaster Reduction and Protection

1) 研究背景

Background of study

建国以来，我国进行了大规模的水利工程建设，取得了兴利除害的伟大成就，修建加固了不同防洪标准的堤防25万km，修建各类水库8.48万座，总库容4580亿 m^3 ，其中大型水库397座，总库容3267亿 m^3 。8万多座已建成的大中小型水库，初步控制了大江大河的常遇洪水。



Dynamic pressure curves of Burst-Heights

伴随水利工程建设的发展出现了一些新的矛盾，其中溃坝防洪安全问题尤为突出。溃坝洪水波灾害和特大洪水灾害性质完全不同，洪水波是突发性灾害，它像一堵墙一样向下游猛烈冲击，会带来惨重的人员伤亡和巨大的经济损失。



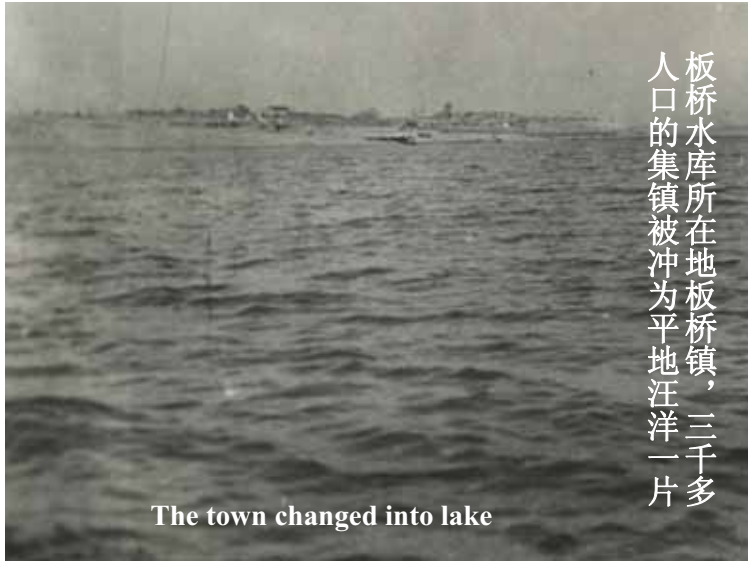
2) 洪水波的危害

Danger of Flood wave

造成溃坝形成洪水波的原因主要有二种，即渗漏漫溢和恐怖爆炸破坏。

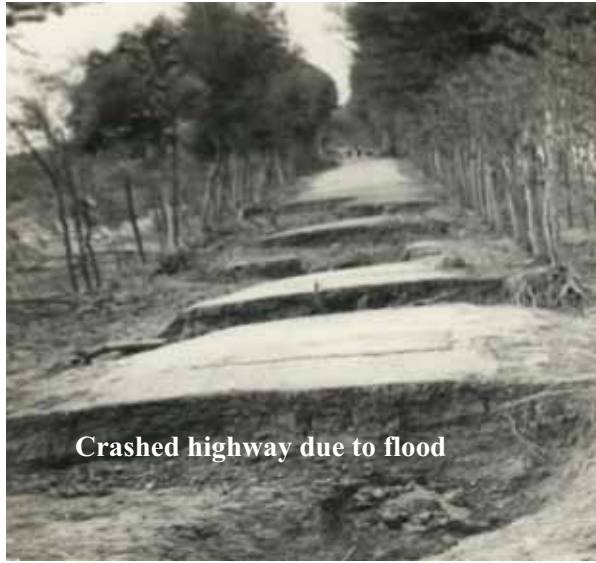
1975年8月我国淮河上游河南境内的板桥、石漫滩水库，由于上游连降暴雨导致流域洪峰迭加，造成土坝漫溢溃决，在短短4个小时内，大坝全部冲毁，涌浪激波像一面墙一样排山倒海倾泻而下，淹没4个地区29个县，冲毁城镇，冲毁农田。





The town changed into lake

板桥水库所在地板桥镇，二千多人口的集镇被冲为平地汪洋一片



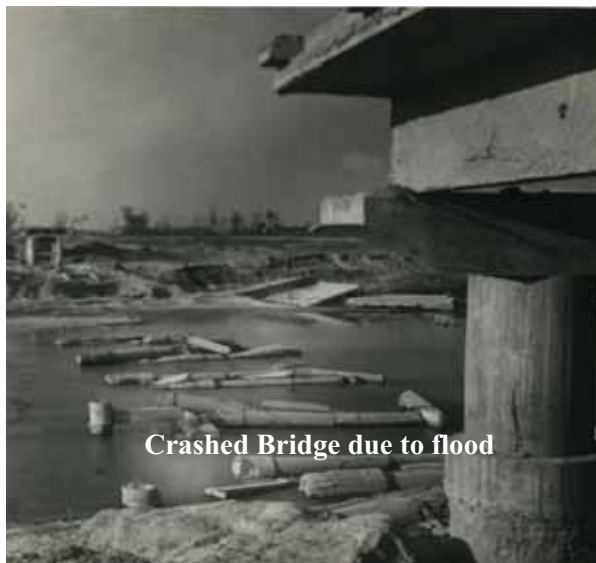
Crashed highway due to flood

上蔡县华陂公路被冲毁情况



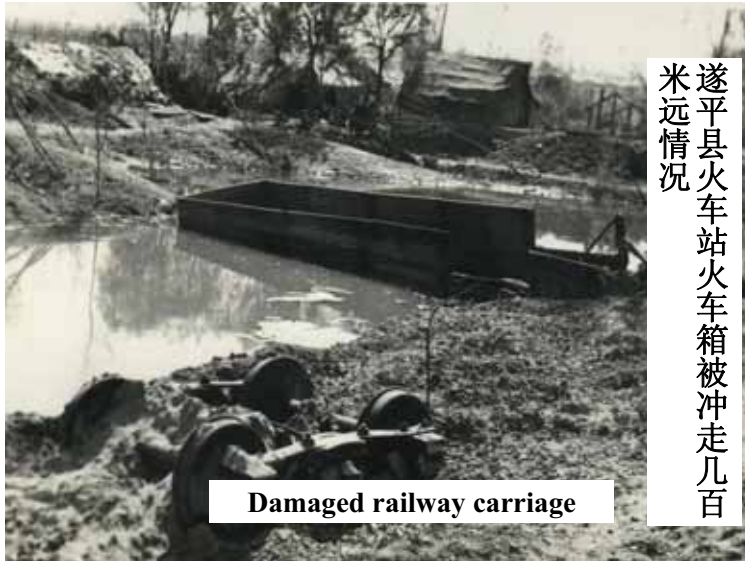
板桥水库大坝下公路被冲坏情况

Crashed highway due to flood



Crashed Bridge due to flood

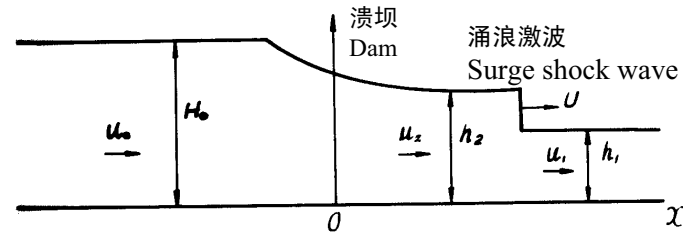
遂平县南关汝河大桥被涌浪激波冲毁情况



Damaged railway carriage

遂平县火车站火车箱被冲走几百米远情况

洪水波涌浪激波 Flood surge shock wave

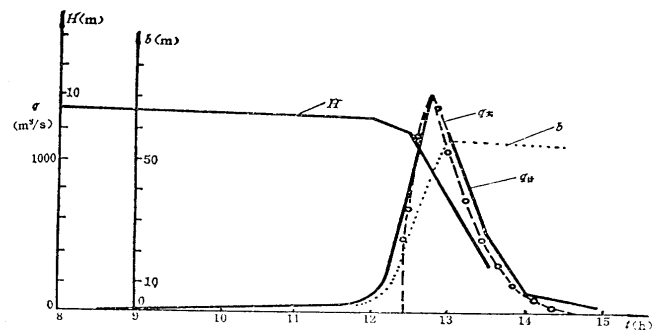


瞬时全部溃坝产生连续波和不连续涌浪激波前锋流态原理图

3) 洪水波涌浪激波

Flood surge shock wave

洪水波灾害的严重性：一是洪水波激波前锋的破坏力极其巨大，在数米至几十米激波前锋的冲击下，任何建筑物、铁路、桥梁都会立即遭到破坏；二是溃坝引起的洪水流量极其惊人。板桥水库溃决后4小时，洪峰流量为78000m³/s，已超过了98年长江洪峰流量。激波前锋的巨大破坏力和洪水波的洪峰大流量给防护工作带来了巨大的困难。



后屯水库溃坝流量过程线和库水深过程线
Change of the flow Rate and the reservoir depth

4) 需要解决的重大问题

Problems to be solved

(1) 研究解决坝体溃决动力学机理和解决坝体破坏效应的理论基础;

(2) 研究解决溃坝洪水波演进和涌浪激波动力学特征

溃坝洪水依据高水头下的溃决条件不同以及河谷条件的不同, 在初始溃坝阶段形成的洪水波涌浪激波特征有显著差异, 对洪水波演进有决定性作用; 河谷的约束和滩地泛区的扩散条件对于涌浪激波变化有制约作用;

1) 八渡火车站大滑坡治理工程

Slope landslide treatment of Badu Railway station

八渡火车站, 位于广西省南昆铁路线上。火车位于一个古老的滑坡体上, 车站建成后, 发现大滑坡位移已经产生。设计采用锚固桩复合锚索加固方案, 锚索长70m。吨位为100—200吨。钻孔采取校正器辅助工艺, 使角度偏差小于1°。锚索采用波纹塑料套管, 达到了防锈的目的。

3.3 长锚索支护技术防治边坡滑移

Prevention and management of slope landslide with anchor cable supporting

预应力锚索是目前进行岩土工程加固的有力工具。其原理是利用深部基层岩土地层的强度和稳固性, 对松散、有裂缝的不稳定岩石或土壤表层进行加固, 以达到使岩土工程稳定的目的。

八渡复杂地层中长锚索施工的技术措施



The anchor cable construction of Badu railway station in Guangxi province. The thick of landslide mass is 30-50m. The volume of sliding mass is 5 million m^3 . The nature of stratum is loose, broken and half-saturated media.



This is anchor cable detail and Joint photo. The prestressed anchor cable is composed of anchoring section, free section and head of anchor. The anchor cable in anchoring section is surrounded by plastic corrugated pipe, which function is anti-rust of steel ropes

- (1) 大吨位预应力斜锚索，规格为100T、160T、300吨和600吨。锚索长30—70m。
- (2) 大洞室向上垂直锚索。采用快速封闭加压注浆工艺完成。
- (3) 裂隙岩石穿越技术，可以顺利成孔，解决卡钻问题。
- (4) 钢筋混凝土墙穿越技术，在遇有钢筋阻隔情况下，可以用特殊装药切断孔内钢筋后，继续钻孔。

2) 漫湾水电站

Manwan water Power station

1988年云南省澜沧江中游云县附近，修建漫湾水电站过程中，出现严重边坡塌方，致使坝基清理和混凝土施工中断，山坡上的缆式起重机无法运行。我所在国内首次采用大吨位预应力长锚索进行支护后经三个月完成加固工程，滑坡部分岩体趋于稳定。在长锚索施工中采用的新技术包括：



The Yunnan Manwan waterpower station is at middle reach of Lancanjiang river.



The prestressed anchor cable's extension tonnage are 100t, 160t, 300t and 600t.

长锚索加固新技术，与传统的锚固桩、锚固洞加固技术相比较，改变被动受力状态为主动受力状态，受力合力，山体变形位移小。施加预应力过程非常直观，并可以测试实际施加的预应力吨位数。传统方法锚固洞施工属于隐蔽工程，常常出现混凝土灌注漏洞，减低了锚固作用效果。漫湾水电站预应力长锚索支护边坡的稳定性，经过了长达12年的考验，证明是安全可靠的。



After anchor cable support was completed, the gigantic cable crane is restarted to run.

3) 二滩水电站

Ertan water power station in Sichuan Province

四川二滩水电站的山体施工道路边坡出现严重滑移裂缝，经我所采用预应力长锚索加固之后，裂缝停止发展。局部地区，经施加预应力后产生了负向位移，说明支护技术是十分有效的。



The Sichuan Ertan water-power station. The length of anchor cables are 40-70 m. Transport of anchor rope is taken by manual work and putting it to hole is made by crane. This construction speed is very fast.



Anchoring technique
Characteristic:

1. Drilling hole. The new joint of the drilling rod is given.
2. Anchor cable. The two layer protection-free type anchor ropes with plastic corrugated pipes are used.
3. Grouting slurry. Adding in expansion agent is capable to promote fluidity. The water-cement ratio decreases from 0.5 to 0.3. The early slurry strength after 3 h is 100#

4) 小浪底水电站

Xiaolangdi water power station

小浪底地区岩石为风化砂岩，裂隙十分发育，夹带胶泥，这种破碎山岩在预应力锚索加压注浆施工过程中极易产生泥浆渗漏和锚杆锈蚀问题。

采用水玻璃—水泥浆双液法注浆工艺较好地解决了锚索施工问题。同时采用波纹形塑料套管进行双层同压注浆，有效地阻隔了渗透水通过裂隙问题，达到了保护锚杆防锈的目的。

黄河小浪底锚索护坡工程



The Yellow river Xiaolangdi water-power station is located at Henan Luoyang. Its rock mass is weathering sandstone. The reinforcement technique is compound prestressed anchor rope and non-stressed anchor rod.



prestressed anchor rope-reinforced concrete beam compound support is used.

谢谢大家！
Thank you