

公路工程参考资料

第五輯

人民交通出版社

目 录

粗块石拱桥施工与利尖的理论 and 效果·····	顧傳緯、姜一鵬 (1)
在高溫下地瀝青混凝土路面的稳定性問題·····	
·····	技术科学副博士B.И. 崗茹拉 (28)
利用震动机械压实地瀝青混凝土道路鋪砌层·····	
·····	技术科学副博士B.И. 柯諾諾夫 (42)
道路鋪砌层混合料强度的评价問題·····	
·····	技术科学副博士B.М. 高格利得柴 (49)
震动压实对道路地瀝青混凝土性質影响的研究·····	
·····	技术科学副博士B.И. 柯諾諾夫 (56)
提高地瀝青混凝土鋪砌层質量的方法·····	
·····	技术科学博士、教授H.И. 伊万諾夫 (79)
地瀝青混凝土路面的强度計算·····	
·····	技术科学副博士B.И. 卡崗 (86)
瀝青混凝土砌块在道路工程上的应用·····	
·····	副教授T.К. 苏別尔特 (96)
冷鋪地瀝青混凝土的震动压实問題·····	
·····	工程师B.И. 庫尔琴柯夫 (100)
用放射性同位素方法来研究土与結合料的拌合均匀度·····	
·····	B.В. 齐馬紹夫, Ф.М. 伊万諾夫 (108)
鋼弦混凝土梁因局部应力产生的裂縫·····	
·····	技术科学副博士E.В. 土馬斯; 工程师M.Е. 紀卜西曼 (114)
大型木桥桩式墩台的大修·····	工程师M.Т. 秋林 (119)
鋼筋混凝土无鉸拱的最小寬度問題·····	
·····	副教授P.И. 雅科夫列夫 (122)

粗块石拱桥施工与刹尖的理論和效果

賴傳緯編 姜一鵬核

一、粗块石拱桥施工經驗介紹

1. 全部用粗块石支砌拱圈的大型桥施工經過概况

原桥系石台墩木面，載重小，年修理費大，且取材困难。为适应重車及拖挂列車通过及加强与各地区的物資交流，更好的为工农业大跃进服务，决定利用原有台墩改建为鋼筋混凝土連續梁上部結構，嗣因鋼材缺乏，改变計劃决定修建块石拱。共需石砌工程达2,160立方米，其中拱圈粗块石700立方米，粗細料石209立方米。

全桥共10孔：淨跨长为19.4米、12及11米的各一孔，10米的七孔，四孔为不等跨径。設計載重为汽—18級与拖—80級。除19.4米孔采用 $\frac{1}{4}$ 的悬鏈形变截面拱外，余均为 $\frac{1}{3.5}$ 等截面圓弧形拱。所有拱圈都是用粗块石支砌，采用刹尖关門的办法，对提前竣工，保証工程質量，節約造价起到极其重要的作用。

本桥是在这样的条件下进行施工的：根据气象展望，当年五月即进入雨季，如便桥、便道冲毀即会断絕交通；如拱圈未合拢，卸落拱架前洪水到来，正桥将遭受到損失。

劳动力缺乏，运输紧张，全桥計算需要普工、技工共800人才能搶在洪水前竣工，但实在只能調集普工、技工400余人。面临这种情况如設計施工仍因袭陈規旧法，其后果实不可

設想。在党的社会主义建設总路綫的鼓舞和领导的支持下，建桥职工破除迷信，把苦干与巧干相結合，科学技术研究与当前任务和結合，大胆地采用粗块石砌拱，研究利尖（預加推力）的理論和效果，并大力推广各項行之有效的先进經驗，合理地組織勞力。4月9日开始砌拱，5月4日全部合拢脫架，5月11日晚，即发生63.4毫米的大雨，冲走了拱架三孔、便桥一孔，曾使运输中断5天，但正桥未受任何損失。

2. 粗块石砌拱的构造和要求

过去修建拱桥一般都采用拱石或方块石，用粗块石砌拱是沒有做过的，特别是大型桥。对参加这项工作的干部与工人，需要把技术操作与理論分析詳細交代，才能加强他們的信心。这里虽有很多理論是帶有假想性的，但也根据实践的基础来推論发展的，所以結果証明还是比较接近实际的，只是部分需要作一些修正。

采用粗块石砌拱，我們是根据該处石料的标号平均大于2000公斤/平方厘米的有利条件，結合拱圈砌体强度要求提出的。现在就其中大孔19.4米来研究，該拱圈砌体是用允許基本强度为28公斤/平方厘米設計。

砌体强度計算公式：

$$R_{KN} = AR_K \left(1 - \frac{a}{b + \frac{R_P}{R_K}} \right)$$

式中： R_{KN} ——砖石砌体抗压强度

R_K ——砖石标号=2000公斤/平方厘米

$$\text{砌粗块石 } A = \frac{100 + R_K}{100 + 6R_K} = \frac{100 + 2000}{100 + 12000} = 0.17$$

$$\text{經驗系数 } a = 0.2 \quad b = 0.25$$

采用 R_p ——砂浆标号=120公斤/平方厘米

$$\text{則 } R_{KN} = 0.17 \times 2000 \times \left(1 - \frac{0.2}{0.25 + \frac{120}{2000}} \right)$$

$$= 122 \text{ 公斤/平方厘米}$$

允許砌体强度，用安全系数3，則

$$\frac{122}{3} = 40.7 \text{ 公斤/平方厘米} > \text{設計允許基本强度 } 28$$

公斤/平方厘米。

砌体强度大小与石料标号及所用砂浆标号关系較大，特别是与石料标号的关系更大。块石强度既能滿足需要，何必一定要采用料石（方块石）或拱石呢？

粗块石沒有大小头和拱石断面不同，支砌时，下口砌縫可以小到1~2厘米，但上口便逐漸增大到3~6厘米，如全用砂浆便会浪費水泥，因此縫口大于3厘米时，便用水泥混凝土填砌；小于3厘米的縫口仍用砂浆。19.4米一孔的拱圈结构，如图1，其余各孔用80号砂浆与110号混凝土。实践证明，混凝土与石料的結合非常紧密。由于混凝土体积小，且周围被石料砂浆及拱上填料所包围，因此受

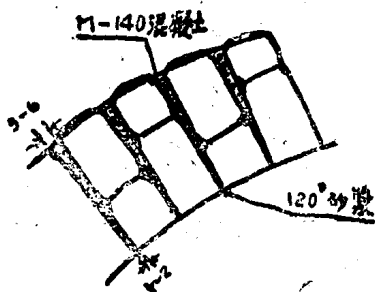


图 1

温度影响也小，只要用钎捣密实，养护認真，完全能与石料結合成为整体。混凝土的标号要求稍高于砌体强度30~40%，这是因为利尖合拢时要承受一定的預加推力的挤压关系，提高一些标号可以达到提前合拢。但我們这次設計混凝土的标号用得

过高，实际試驗結果混凝土的标号只达到平均90公斤/平方厘米。

粗料块石规格要求断面在25厘米以上，长度在50厘米以上，接触面稍加修鑄平整即可使用。砌置要求在高度上与縱向（順桥）横向（跨桥）錯縫，但因工人习惯于支砌拱石，备料时一般断面寬都为30厘米，因此横向便无法錯开，图2示块石拱圈的拱背。



图 2

3. 不等跨径拱桥桥墩与拱脚的构造

本桥系利用原有下部結構修建不等跨径拱桥，其中邻孔跨长相差最大的第四、五、六三孔（12米，19.4米与10米），墩頂寬（拆到拱脚以下一层）平均为2.8米。

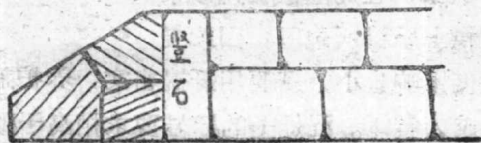


图 3

首先根据最不利的活重位置驗算，拱脚墩頂部分的剪应力为 2.66 公斤／平方厘米，桥墩抗复与抗滑均屬安全。在 19.4 米孔的拱脚部分用 80 号砂浆支砌，認真錯縫，并采用部分堅石，以增强其抗剪力量，詳細結構如图 3 所示。

在 80 号砂浆支砌錯縫的情况下，剪应力为 4.0 公斤／平方厘米 > 2.66 公斤／平方厘米。旧桥墩砌置質量差，全系石灰紅土砂浆砌片石填腹，灰砂均未完全凝固，部分用砂土填塞，所以接近拱脚的三至五层都拆除重砌，这样便完全保證了不等跨径桥孔的安全。

4. 粗块石拱桥的經濟意义

(1) 粗块石开清料比方块石和拱石需要的劳动力少的很多，单价相差也大。1958 年省公路基本建設統一規定額規定开采每一立方米石料的单价和需用工日列如下表：

項 目	單 价 (元)	勞 動 定 額	
		需要工日	每工日生产量
人工开采块石(粗)	2.29	1.13	0.887
人工开采方块石	10.28	4.58	0.218
人工开采双层拱石	19.43	8.78	0.114

单价与劳动力的比大致是：

粗块石：方块石：拱石 = 1 : 4 : 8

(2) 粗块石需要技术熟練程度远不如方块石与拱石，在技术工人非常缺乏的情况下，采用粗块石特別有它的重要意义。这次調集 140 名石工中 70% 以上为徒工或半技工，开采方块石与拱石平均只能达到上述定額的 60%，开采粗块石平均只能达到上述定額的 90% 以上。

全桥共用拱圈石 700 立方米，开采粗块石每立方米实际需要 1.25 工日，方块石需要 7.62 工日，拱石需要 14.4 工日，全桥拱圈石料如用粗块石需要 875 工日，用方块石需要 5,334 工日，用拱石需 10,080 工日，按每日用 100 工计算，开采粗块石比方块石会提前 44 天，比拱石会提前 92 天，这里尚未将 400 米的场外运输与平均 100 米的场内运输所需劳力及支砌方面劳力的差数计算在内，这就是本桥能在七十余天内完成的主要原因。

全部工程包括引道便桥、便道以及附属工程在内，按拱石概算 24 万元，实际竣工估计为 17 万余元，桥梁本身只合 127,900 元左右。以 136 公尺全长计算，平均每延公尺仅合 940 元（墩台系利用原有的，未计算在内）。在修建大型桥梁的历史上，创造了多快好省的纪录，为修建石桥开辟了节约的途径。

二、块石拱圈的剃尖（预加推力）关门（合拢）

1. 一般情况的简介

剃尖关门是在拱圈合拢前，在拱顶上预加一人为推力，我们对 19.4 公尺孔进行了比较有系统的研究和观测工作，现将该孔原设计主要数据写在下面（图 4）：

设计载重为汽—18 级与拖—80 级，桥面宽（包括人行道）7.0 米。

净跨 $l_0 = 19.4$ 米 计算跨长 $l = 20.26$ 米 $m = 5.270$

矢高 $f = 4.91$ 米 $f / l = 0.242$

拱顶厚 $d_3 = 0.75$ 米 拱脚厚 $d_n = 1.06$ 米

拱圈轴线为悬链形如图 3 所示。

恒载力计算为：

$H_g = 43.2$ 吨，

$\Delta H_g = -1.46$ 吨。

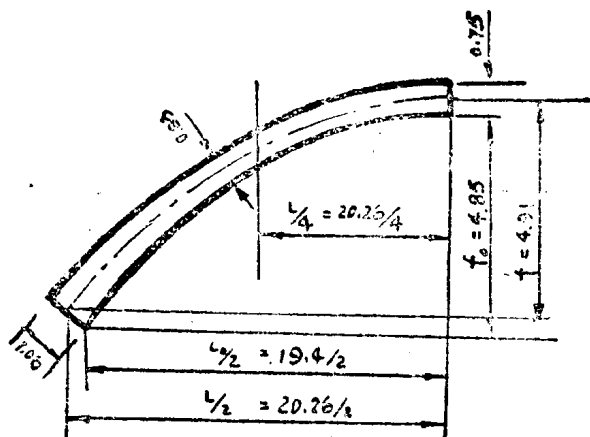


图 4

恒载发生的应力如表 1。

恒载应力表

表 1

拱 脚		1/4 跨 径		拱 顶	
σ_B	σ_H	σ_B	σ_H	σ_B	σ_H
+39.56	+97.64	+58.01	+50.19	+74.15	+37.25

温度发生的应力如表 2。

温度应力表

表 2

	拱 脚		1/4 跨 径		拱 顶	
	σ_B	σ_H	σ_B	σ_H	σ_B	σ_H
温度上升	-34.96	+33.06	+2.66	-6.50	+19.31	-23.87
温度下降	+59.78	-56.33	-4.55	+11.12	-33.02	+40.82

注：表中应力均以吨/平方米为单位。

汽-18级与拖-80级活重作用综合计算应力如表 3，表 4。

汽-18 級 作 用

項 目	應 力 種 類		拱
			σ_B
1	主 力	恆載	+39.56
2		汽-18 M_{max}	+72.46
3		汽-18 M_{min}	-34.87
4		恆載+汽-18 M_{max}	+112.02
5		恆載+汽-18 M_{min}	+4.69
6	主 力 及 附 加 力	恆載, 溫度下降, 汽-18 M_{max}	+77.06
7		恆載, 溫度下降, 汽-18 M_{min}	-30.27
8		恆載, 溫度上升, 汽-18 M_{max}	+171.80
9		恆載, 溫度上升, 汽-18 M_{min}	+64.47

拖-80 級 作 用

項 目	應 力 種 類		拱
			σ_B
1	恆載		+39.56
2	拖-80 M_{max}		+99.38
3	拖-80 M_{min}		-60.72
4	恆載+拖-80 M_{max}		+138.94
5	恆載+拖-80 M_{min}		-21.36

綜合应力表

表 3

脚	1/4跨徑		拱 頂	
σ_H	σ_B	σ_H	σ_B	σ_H
+97.64	+58.01	+50.19	+74.15	+37.25
-44.86	+50.15	-38.61	+84.33	-52.89
+63.09	-30.17	+51.93	-10.41	+27.67
+52.78	+108.16	+11.58	+158.48	-15.64
+160.73	+27.84	+102.13	+63.74	+64.92
+85.84	+110.82	+5.08	+177.79	-39.51
+193.79	+30.50	+95.62	+83.05	+41.05
-3.75	+103.61	+22.70	+125.46	+25.18
+104.20	+23.29	+113.24	+30.72	+105.74

綜合应力表

表 4

脚	1/4跨徑		拱 頂	
σ_H	σ_B	σ_H	σ_B	σ_H
+97.64	+58.01	+50.19	+74.15	+37.25
-76.02	+62.72	-47.10	+100.84	-61.08
+89.00	-42.53	+73.25	-14.36	+38.20
+21.62	+120.73	+3.09	+174.99	-23.83
+186.64	+15.48	+123.44	+59.79	+75.45

主应力（恒載及活載）：

最大压应力 $\max \sigma_{\text{сж}} = 160.73 \text{ 吨/平方米}$
 $\approx 16.07 \text{ 公斤/平方厘米} < \text{准許应力} [\sigma_{\text{сж}}]$
 $= 28 \text{ 公斤/平方厘米}$

最大拉应力 $\max \sigma_{\text{раот}} = 15.64 \text{ 吨/平方米}$
 $\approx 1.56 \text{ 公斤/平方厘米} < \text{准許应力} [\sigma_{\text{раот}}]$
 $= 3.6 \text{ 公斤/平方厘米}$

主应力及附加应力：

最大压应力 $\max \sigma_{\text{сж}} = 193.79 \text{ 吨/平方米}$
 $= 19.38 \text{ 公斤/平方厘米} < \text{准許应力} (\sigma_{\text{сж}})$
 $= 28 \text{ 公斤/平方厘米}$

最大拉应力 $\sigma_{\text{раот}} = 39.51 \text{ 吨/平方米}$
 $\approx 3.95 \text{ 公斤/平方厘米} > \text{准許应力 } 3.6 \text{ 公斤/平方厘米}$
拉应力超出允許范围，須用刹尖办法調整降低。

2. 刹尖关門的理論分析

刹尖关門是在拱圈合拢前預加一个推力使拱圈抬高脫架，进行关門（合拢）。这同弗来西納工程师利用千斤頂脫架及調整应力具有相似的作用，但刹尖关門是合并脫架与調整应力一次进行，而用千斤頂工作須分为两步即：第一步卸落拱架，第二步在完成拱上建筑和路面后調整应力，这是二种办法不同之点。

卸落拱架最适宜的推力值及其位置的確定系根据这样的要求：拱圈在恒載作用下，只承受純粹的压力，这就需要預加一项能抵消恒載作用下，弹性压缩所产生的附加推力的力量，最好用“基本溫度法”来計算，即求出相当的温度推力能完全和恒載弹性压缩产生的附加推力相平衡：

（1）先求拱圈自重作用下，拱頂截面的推力和偏心距数值（见图5）：

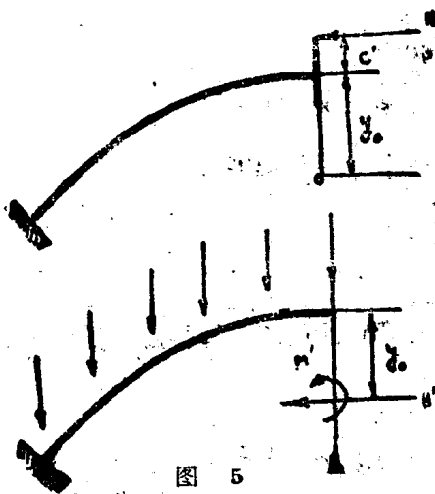


图 5

$$H' = \gamma l_1 d_3 V_2 \frac{1}{1 + \mu}$$

$$C' = l_1 (1 + \mu) \frac{V_1}{V_2} - y_0$$

式中: γ = 拱圈材料容重 = 2.2 吨/立方米

d_3 = 拱顶厚度 = 0.75 米

l_1 = 拱圈半跨长度 = 20.26/2 = 10.13 米

参数 $V_1 = 0.156$ (当 $f/l = 0.242$ $\mu = 0.6$
 $m = 5.270$)

$$V_2 = 1.17 \quad \mu = 0.0272$$

$$H' = 2.2 \times 10.13 \times 0.75 \times 1.17 \frac{1}{1 + 0.0272} = 19.04 \text{ 吨}$$

$$C' = 10.13 (1 + 0.0272) \times \frac{0.156}{1.170} - 1.19$$

(弹性中心距 $y_0 = 1.19$)

$$=1.38-1.19=0.19\text{米}$$

建桥地区气候情况决定拱轴极限温度为:

$$\max t=40^{\circ}\text{C} \quad \min t=2^{\circ}\text{C}$$

收缩影响可转化为温度降低 Δt_f

$$\Delta t_f = \frac{40-2}{2} = 19^{\circ}\text{C}$$

在合拢时拱轴的计算温度为:

$$t_3 = 16^{\circ}\text{C}$$

平衡恒载作用产生的附加弹性压缩推力需要的温度提高值:

$$\Delta t_0 = \frac{1}{EF_n \alpha} H_g$$

由设计计算不计弹性压缩的恒载推力 $H_g = 43.2$ 吨

块石圬工弹性模量 $E = 600,000$ 吨/平方米

线胀系数 $\alpha = 0.8 \times 10^{-5}$

拱圈平均截面面积 $F_n = V_1 F_s = 0.99 \times 0.75 \times 1$

$= 0.74$ 平方米 ($V_1 = 0.99$)

$$\therefore \Delta t_0 = \frac{1}{EF_n \alpha} H_g = \frac{1}{600,000 \times 0.74 \times 0.000008} \times 43.2$$

$$= 12^{\circ}\text{C}$$

基本温度 $t_0 = t_3 + \Delta t_0 = 16^{\circ} + 12^{\circ} = 28^{\circ}\text{C}$

而合理的基本温度应为 T_0 :

$$T_0 = \frac{t_{\max} + t_{\min}}{2} = \frac{40^{\circ} + 2^{\circ}}{2} = 21^{\circ}\text{C}$$

预加推力 H_0 , 应使基本温度降低 $28^{\circ} - 21^{\circ}\text{C}$, 并且消除收缩的影响, 这种影响相当于附加的温度降低 Δt_f 由此可得:

$$H_0 = \frac{\alpha l(t_0 - T_0 + \Delta t \gamma)}{\int_0^s \frac{y^2 d_3}{EI}}$$

式中: $I = \frac{1}{12} \times 0.75^3 = 0.0352 \text{ 米}^4$

$$\int_0^s \frac{y^2 d_3}{EI} = 0.0574 \times \frac{l f^2}{E \times 0.0352} =$$

(当 $m=5.27$ $n=0.6$ 时)

$$= 0.0574 \times \frac{20.26 \times 4.91^2}{0.352^2 E} = 795/E$$

$$\therefore H_0 = \frac{0.000008 \times 20.26(28^\circ - 21^\circ + 19^\circ)}{795/E}$$

$$= \frac{0.00008 \times 20.26 \times 26 \times 600,000}{795}$$

$$= 3.18 \text{ 吨}$$

需要人为推力及其位置 (见图 6) :

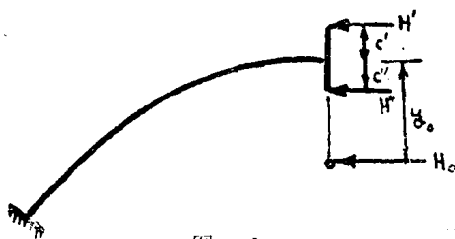


图 6

$$H'' = H' + H_0$$

$$= 19.04 + 3.18 = 22.22 \text{ 吨}$$

$$C'' = \frac{H_0 y_0 - H' C'}{H''}$$

$$= \frac{3.18 \times 1.19 - 19.04 \times 0.19}{22.22}$$

≈ 0.0076 米，約在截面中心

上

(2) 在人为推力 H' 作用下，弹性中心的水平位移见图 7。

$$X_1 = 6 \times \frac{V}{E} \left(\frac{l}{d_3} \right)^2 \times \left\{ 2 \times \frac{l}{d_3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 H' - V f^2 V_2 \right\}$$

式中：参数 $V = 0.0574$ (由 $m = 5.270$ $n = 0.6$ 由表查得)

$$X_1 = 6 \times \frac{0.0574}{600,000} \left(\frac{20.26}{0.75} \right)^2 \times \left\{ 2 \times \frac{20.26}{0.75} \left(\frac{4.91}{20.26} \right)^2 \times 22.22 - 2.2 \times 4.91^2 \times 1.17 \right\} =$$

$$= 0.000418 \times 7.4 = 0.0031 \text{米} = 3.1 \text{毫米}$$

拱顶张开的轉角：

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{6(1+\mu)}{E d_3} \left[\frac{l}{d_3} H' (y_0 - C') - 2 f l^2 V_1 \right] \\ &= \frac{6 \times 1.6}{600,000 \times 0.75} \left[\frac{20.26}{0.75} \times 22.22 \times \right. \\ &\quad \left. \times (1.19 - 0.0076) - 2 \times 2.2 \times 10.13^2 \times 0.156 \right] = \\ &= 0.0000215 [710 - 710] = 0 \end{aligned}$$

因此拱顶开张为：

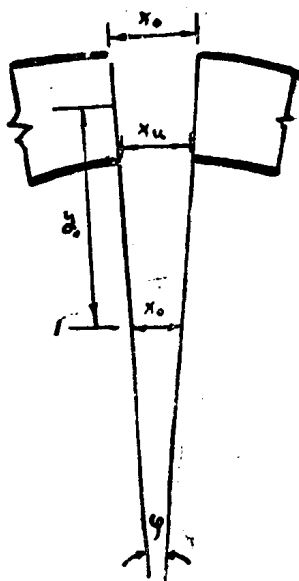


图 7

$$X_0 = X_u = X = 0.0031 \text{ 米} = 3.1 \text{ 毫米}$$

(3) 刹尖需要錘击重量及落錘高度計算見圖 8。

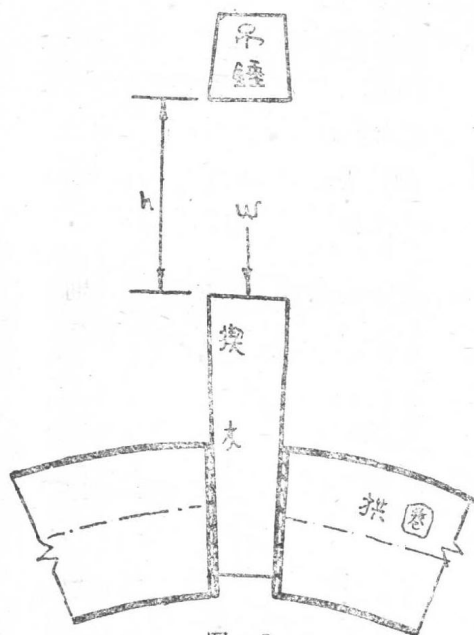


圖 8

根据以上計算，刹尖需要在拱頂截面距中心下0.0076米，即約在拱軸中心附近外預加一推力 $H'' = 22.22$ 吨。

产生水平位移 $X_0 = 3.1$ 毫米，設用重量为 w 吨的吊錘，落錘高度为 h 米，則产生的功能为：

$$W = wh \text{ 吨-米}$$

这项功能要能产生推力22.22吨，达到水平位移3.1毫米，即 $22.22 \times 0.0031 = 0.0689$ 吨-米

不計功能的損失則应使：

$$wh = 0.0689 \text{ 吨-米}$$