

86.575
541

12.17

42039

干砌块石拱桥的施工

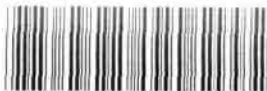
陕西省公路工程局科学研究室 編

1962.11.20



人民交通出版社

86.575



C0039508

2099

干砌块石拱桥的施工經驗介紹

在党的总路綫光輝照耀下，我省公路桥梁施工技术，随着公路工程的发展，有了很大的进步，参加筑路的广大农民群众和职工們，除了积极学习，推广苏联先进經驗外；又发掘了祖国固有的石拱桥修造技术，加以发揚提高；并本着“就地取材”的原则，适应山区石料便利的特点，大胆創造，刻苦钻研，在各处公路新綫上修建了大量干砌块片石涵洞小石拱桥及石台墩工程，（其数量以西万公路为最多），取得了經驗。随后，通过了两座跨径五米的半圓式石拱桥的修建，干砌技术又有所提高（图1）。在党的领导和大力支持之下，工人同志們将这一技术推广应用，先后在西万公路北段第四工程队天佛崖，及南段第二工点，横跨澧河上游主流，修建1/4拱度，跨径10米的干砌块石拱桥各一座（图2及3）。又在西万公路南段第三工程队2024+22工点，横跨月河上游主流，建成1/3.5拱度，跨径8米之干砌块石拱桥一座（图4）。这些桥梁安全通流了1959年雨季的常年洪水，保证了工程材料重车的通行，在質量上經受了初步考验。随着砌作工艺的提高，建筑物的结构和形式逐渐趋于完善和美观（图5）。尤其是中型桥的砌作工艺，更是表现了庄严美观（图6及7分为天佛崖桥拱頂及拱腹砌缝情况），拆除拱架时沉落也较小，比之白灰砂浆砌的拱桥，情况反較良好。通过这一系列干砌桥梁的修建，节省了大量石灰的烹制以及其轉运工作，减少了凿石高級技工。除了涵桥本身得以多快好省的完成任务而外，对于整个西万公路所需的劳动力还起了調剂作用，解决了石工不足的困难，为提前通車創造了条件。

为了使这一新兴技术得到交流推广，更广泛的发揮其经济效益，从更多的实践中获得全面提高起見，仅将我們所获得的点滴經

驗分別介紹于后。



图1 紅草河上跨5 米的牛脚拱桥



图2 天佛崖1/4拱度、拱跨10米的中型桥



图3 鹤窝子1/4拱度、拱跨10米的中壅桥

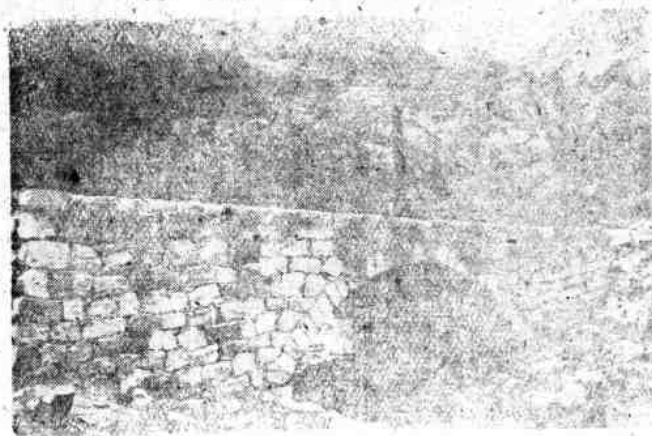


图4 月河1/3.5拱度、拱跨3米的中壅桥

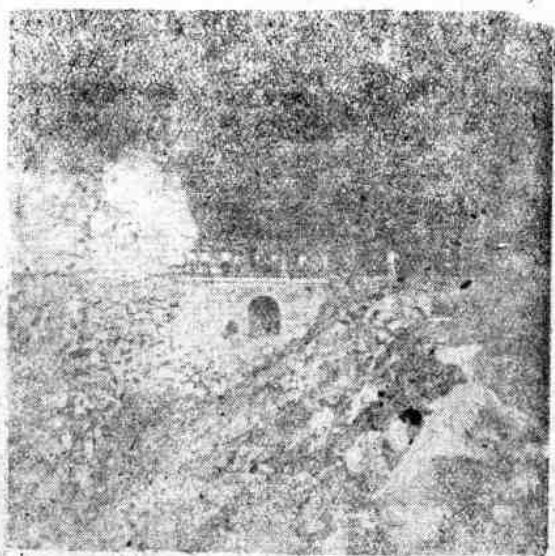


图5 李國坪2米拱涵全景



图6 天佛崖桥拱顶砌牆



图7 天棚崖桥拱腹均部

一、施工方法之理論基礎

干砌块石拱桥是浆砌料石（扇形拱石）拱桥的发展，是一件比較新的技术。1959年初党向我們提出課題交付这一光荣、新穎的任务之后，各階层的工程技术人员在各級党組織的领导下，便积极进行了有关拱桥設計理論和施工工艺的研究。他們除了閱讀有关文件及資料外，并且虚心向修建过石窑洞的老师傅們进行學習，把理論和經驗結合起来，树立了一些基本認識，从而摸索出在施工过程中應該注意的一些問題；和解决这些問題，达到保証質量的目的所必須采取的施工方法。

下面是我們所体会到的作施工方法之理論基礎的一些基本認識：

1. 干砌石拱必須有可靠的台墩基础。保証其不发生允許限度以外的沉陷及移动，以滿足拱体 $\Sigma X=0$ ， $\Sigma Y=0$ 及 $\Sigma Z=0$ 的穩定平衡条件。

2. 拱体之軸綫在最大或最小的拱頂推力作用下，各个拱块接縫处之受力点要儘量使其落在断面中心三分之一范围内（或其附近），并使其抵抗旋动的安全系数不小于2，即可得到較好的結果。

3. 从一般石灰沙漿所砌或之石拱拆架后的沉落情况以及建成后拱腹灰縫因灰份走失而生成微型的石鐘乳的現象来看，我們認為干砌石拱的拱块間之摩阻力，比經常潤湿的灰縫为大，所以干砌石拱对于抗滑动的安全性并不因沒有灰縫而有所减損，因此，采取适当的分块，使压力綫与縫面接近于垂直，便可避免拱块发生滑动。

4. 从一些書本上所介紹的試驗成果和实际观察，我們認為板状

石料（即厚度較小寬度較大的石料），其單位破碎應力遠較立方體試塊為大；尤其是在局部荷重情況下，其極限破碎強度更高。

5. 根據干砌塊石拱體的結構來看，其安全性應以抵抗旋動及不生壓碎（這兩件事是相互關連的）為主要的衡量標準，可以不考慮抗拉及抗剪的安全程度。

6. 由於灰縫太薄，其強度與石料相比又相差太多（白灰沙漿與花崗岩相差100倍，水泥沙漿相差300倍），若是兩個拱塊的接觸面凹凸不平，則其灰縫並不能充分有效的起着均布壓力的作用，在或多或少的程度上兩塊拱石還是具有以點（或部份面積）相接觸的情況，因此，用抵算號的灰漿砌塊石，與干砌無異。

7. 由於漿砌拱的強度是以灰縫的強度為控制，石料的強度並沒有得到充分的發揮。因此，在與漿砌拱相同厚度的干砌拱斷面中，只要有 $1/50 \sim 1/30$ 的接觸面便可達到需要的強度。

8. 在其他條件不變之情況下，根據上述第4條，第7條之理由，在適當照顧細長比不使應力過於折減，並滿足第2條的需要下，漿砌拱之拱厚很有潛力可挖，改成干砌時還可酌量減小。

9. 干砌石拱之拱環系連續的點的接觸。因此，可以通過施工措施，逐塊調整其着力點位置以求接近設計。

10. 由於干砌拱塊是似鉸狀的接合，所以對於橋台因溫度增降而發生位移；所造成的二次應力可以不必計及。

11. 因溫度上升及下降而生之伸縮按 100°C 計算，僅為拱軸全長之 $8\% \sim 4\%$ 。此等長度變化，估計不致造成嚴重之惡劣後果。

二、拱體所用石料尺寸及選采

各橋拱環石材均係在橋位附近就地選取質地良好有足夠強度的河卵石或小孤石製備。在有條件的地方則利用開山石加工。選料標

准，以厚度（使用时受压方向上之尺度为厚度）为23~28厘米，宽度为25~60厘米，长度 $\geq$ 拱环厚度（我們已建成各桥之拱环厚度，在跨径为50米者，两处尺寸均为50厘米；8米及10米者分为50及55厘米）。因此，我們所采用的石料

尺寸，在比例上大致是厚、宽、长三

1: (1~2.5): (1.8~2.0)。

这样，石料在受力时便基本上取得了前节第4项所提及的有利条件。在五座桥中，8米及5米跨径各一座，修建在秦岭以南之河谷中。这一地区火成变质的岩石较少，石料

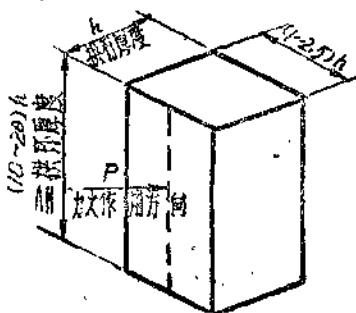


图8 拱环尺寸示意图

是从河滩中选取片麻花岗岩及其他火成岩的变质岩。尤其是74931+25工点附近千枚岩及云母片岩较多，石料采选更有困难。修建在秦岭以北的有5米跨径者一座，10米跨径者二座。这一地区岩石多为火成岩变质岩。河谷中大孤石很多，因此，石料采选比较秦岭南便利。但是孤石节理发达，在劈做时废料很多，影响工效。

以上五座中小型桥，拱块石质均为花岗岩或片麻花岗岩（对有片麻构造的岩石，在加工时均考虑使条带方向垂直于受力方向）。其最小破碎压强估计在800公斤/平方厘米以上（没有作试验）。

关于石料的采备方式，我们也经过一段摸索。例如天佛崖桥备料工作，在初步观察后，我们计划在河滩上选取具有两个平行大面的扁形卵石，略加工打出底口后即予应用。但是事实证明这个方法在自然条件限制下并不经济。其原因为：

(1) 卵石具有一定的三轴比例（大致近于1:2:3），若以小轴为控制条件，则自然尺寸的卵石很难选得适合我们要求的材料，勉强选取较大的卵石加工，反而费工，有困难。

(2)具有两个近于平行面的河卵石其数量不多，而厚度亦多在25厘米以下，不合要求；厚度合乎要求者则体积又过大，加工也不合算。

(3)当地河道宽仅二十米上下，单位长度的河段中能入选的卵石不多，于是选取范围，需要向縱长方向发展，这样便增加了大量抬运工，也不合算。

(4)拱块所需数量很大(寬8米跨径10米的中型桥，約需 $0.25 \times 0.7 \times 0.52$ 方块石600块)。由于老石工少，采选石料工作許多是新工人，他們一般对于干砌或浆砌工艺过程都还缺乏經驗，因此，选运回来的石料不尽合用，反而浪費了人力。

綜上所述，可見漫河滩找料不是好办法，以后就改为在桥位附近集中的利用大孤石来劈做片石。成形程序是：接拱石下口放线，在孤石上(辨清轉理后)凿出下楔的窝子，用楔子加力切开之后，用手錘打去石块大面上的浮皮，并略加正平銳角，但将下口作成規正之长方形(下口就是砌成后之拱腹，参閱图7)。这样加工而成的拱石并不是規矩的扇形，有的上口反而較下口薄些，在三道桥(即8米跨径拱桥修建地点)，及鷄窝子均大胆的予以使用。

我們作成五个拱桥，对石料加工程度不一致，有的过細，有的又过粗，选料也不够認真，以致修成的拱环在拆除拱架时发生变形(图9)。造成这种缺点的原因有三：

- 1.大家都是在摸索，对于砌石拱石料的規格要求还認識不足。
- 2.施工管理上的缺陷。
- 3.或多或少的受到石料产出情况的影响。

天佛崖及鷄窝子两桥是在建成紅草河桥中取得一些备料及砌拱經驗之后修建的，选料和加工都比較严格，所以砌成建筑物形式上比較整齐、美观。

三道桥8米跨径石拱是克服石料选备困难而达到成功的一个例



图9 拱跨5米半圆拱桥拱顶沉落变形

子。

以上五个桥的拱脸石、角子石、拱座和桥台面层石料等大都是使用比较整齐的石料（近于粗料石的方正块石，疙瘩石等等）砌做。红草河、天佛崖、鸡窝子三桥的面墙表层也都是用粗料石或疙瘩石砌做。从已建成的拱桥的情况来看，这样做法，外观和质量都比较好些。

根据实际情况，我们所建成的拱桥是用小部分粗料石和大量片石-块石的综合建筑物。由于拱环的绝大部分是用片石-块石，而这些片石-块石从加工程度来说，近于块石，所以 我们把这些桥称为干砌块石拱桥。

三、拱环的砌筑工艺过程

1. 基础概述。上述五座拱桥，全部具有良好基础。桥台所在的河床，多是大孤石夹砂砾地层和岩石，冲刷很小或竟没有冲刷，所以基础不深，工程简单。有的直接建筑在石层上并没有深挖（如红草河桥）。

2. 拱架搭建，由于河床的承载能力高，所以拱架支脚直接安设在整平的河面上。除了天佛崖及鷄窝子两桥推广了利用細小木料做拱架的经验，使用了钉结和比较简单的结构形式而外（图10），其

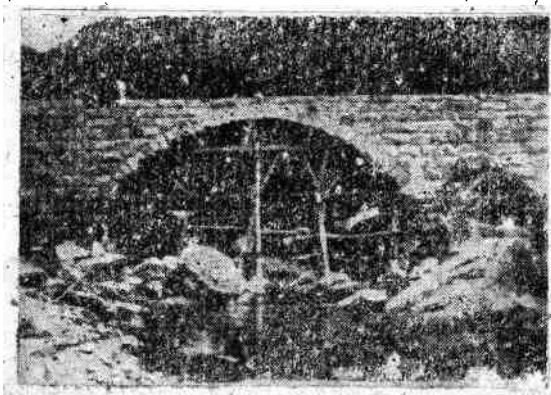


图10 天佛崖桥拱架正面

他施工过程一般相同，但放样工作比较细致，用经纬仪在拱架顶定位。按拱石块数弹出墨线。由于预计到拱石厚度不一致，要求块块压线有困难，所以，有的桥又采用了分组或分段等弹线方法。

3. 砌筑拱体，拱体除依拱轴分块之外，顺河流方向也砌成行（图6）。因此，顶先要作一帮配料工夫。

由于石料不是扇形石，又是按下口放样作成，砌成之后，上口

一定要出現大小不等的夾縫，需用小石片嵌塞。這些嵌縫小石片，是保證拱塊擠緊的主要部件，拱塊所受壓力，絕大部份要靠它們傳導，關係着全橋成敗，所以，要選用堅硬的岩石砸成斧刃形；大小不一致的石片備用。

砌築拱體先從拱腳着手。由於拱腳比較規正，可依之分行彈綫。實際上，由於拱塊尺寸並不一致，逐塊壓綫很難做到，為了保證質量和省工起見，可按每五塊為一組，或將拱環下口分作若干份（組或段）彈出墨綫以便砌做。

拱腳處受力較大，拱冠石關係也較大，都要事先選好，編號備用。拱冠石要選用尺寸比較大的。

在砌作時首先要求將拱塊擺正，豎縫要指向拱環中心。作好這一工作，要使用“拱石豎縫調整板”（圖11）進行核對。這一工具

是天佛崖橋製成的，用起來很方便。若發現豎縫方向不對頭，便要調整嵌縫石片。這些小石片，先是大致嵌塞，待合攏後再進行一次詳細調整。

拱塊由於拱腳起逐漸向中間砌攏。砌到 $1/3$ 矢高時即將拱頂部份抬上同時砌做，以免拱架走樣。為了作好加力的準備工作，拱冠外要留出空行。空行淨空要比拱冠石小2厘米左右，多到3厘米。空行兩側要放一些比較長大的拱塊（1.0米左右的最好），以便加力時力的傳導作用更均勻而有效。

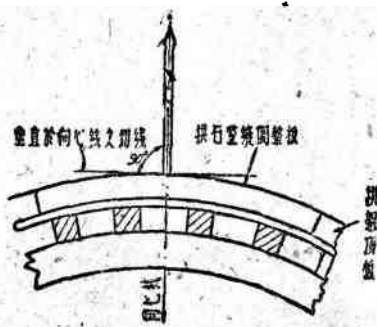


圖11 拱石豎縫調整板

4. 加力設備。加力設備是由兩塊木墊板及一塊正方形的“劈尖體”組成。這三件東西厚度大致相等用硬木製作。其總厚度要大于

空行淨空。式样见图12。木垫板上小下大。木楔則上大下小。木垫板与木楔之接触面要刨光，以减少加力时的阻力。

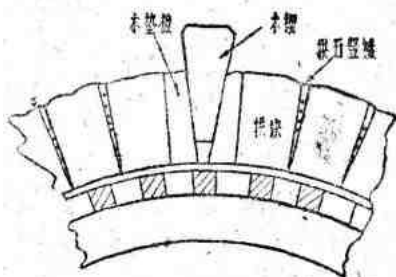


图12 加力设备

加力设备要多预备几组，数量按拱冠石块数减半酌定。在拱块砌到拱顶留出拱冠石的行位后，即沿空行设置加力设备，每两组之间要按拱冠石的长短留出空档。

安设加力设备时，先将两块木垫板小头朝上的靠在空行两边的拱块上；再将木楔插在两块木垫板中间（小头朝下），由于它们的总厚度大于空行淨空，所以木楔有一大截留在木垫板外面。

加力设备全部安好之后，即用16磅大锤逐个地锤打木楔。（最好多用力；用几个人，每人锤一个，同时进行加力）。捶打时用力要先轻后重，各组要匀；使全拱的压缩均匀一致。

由于木楔向下捶打时产生张力，便使砌好的拱块逐步挤紧，先是竖缝变小，拱块发生非弹性的位移，最后便发生拱块的弹性变形，全部拱环升起。据鷄窝桥加力时的实测资料，在拱冠两侧各 $1/8 \sim 1/10$ 跨径的范围内拱腹上升0.5~1.0厘米，每边推动了1~1.5厘米；拱环脱离了拱架。追加力效应达到预期要求，或其抬高程度已无显著增加时即可量出拱之轴线长度，准备进行合拢。

5. 拱顶合拢。追加力达到预期的效应后，即在加力设备两组之间的空档中嵌入预先备好之拱冠石。于此应当注意，所嵌入之拱冠石厚度应较空行之淨空略大，嵌入空行时应在石块顶上木板用力夯下去。唯有这样才可以完成加力作用（若不如此，拱冠石尺寸用小了，很容易的便能放下去，这就说明在拱冠石两侧还留有缝隙，在退掉木楔之后，拱体便会胀回来，减损加力效果）。在第一批拱

冠石嵌好之后，即可退出木楔和木垫板，嵌入第二批拱冠石，完成封頂——合攏的工作。

6. 調整嵌縫。这一步工序的主要目的是：（1）使堅縫进一步的靠攏，减少拆除拱架时的非弹性变形；保証拱块向心的軸綫及其两侧堅縫中綫通过拱环的圓心；（2）調整相隣两块拱体之間的接触面积和接触点的位置，使拱块与拱块之間有足够的接触面；并尽可能調整这些接触面，使之对称的分布在拱軸上下侧；（3）保証拱块順河流方向的軸綫垂直于拱环面，增进其稳定程度，通过这一步工序，使原已嵌入的石片落实，挤紧，并增加一些新嵌石片。嵌入新的小石片和落实旧的石片时既不能用捶打，又不能草草塞入，仍然要应用加力的方法逐縫进行处理。

調整嵌縫的加力方法是：先把适当大小的石片放入夹縫，然后用手把鑽或小撬具塞入夹縫，撬动石縫使石縫张开，使石片自动下溜（程度按需要决定），达到要求后，即取出撬具，拱块即自动夹紧，一点不会松动。碰見大縫，則不用手把鑽撬，改用木楔加力撑开上口效果也是一样。这一工序很重要，要細致而全面的进行。

四、拱体脫架后之总沉落及通車情况

由于干砌拱桥是用加力方法合攏的，又沒有等候灰浆凝固的拖延，所以，已經合攏并作过調整嵌縫工序的拱架可以提前尽快的拆除，以加速拱架的周轉。

已建成的五座拱桥，在支搭拱架时，都由各桥施工主管人員凭自己的經驗估計，預留了拱架的拱度，在砌成后拆除拱架，拱体所发生的总沉落尺寸大致都和預期相近。詳細情况見表1。

表1中所列出的沉落数字，和通車后的情况，說明采取比較完善的加力方法所建成的拱桥，在質量上更有保証。

表2是各桥拱环不同部位的实测总沉落尺寸。从表中所给的資料，我們可以看出干砌石拱的拱体沉落，大致上也是服从于下列規律：

$$\delta_x = -\frac{4\Delta}{l^2} (l-x)x$$

式中： l ——跨径长度；

x ——由起拱綫起計算之距离，（所討論的拱体断面与拱腹之交点距起拱綫之长度）；二者均以米为单位；

Δ ——拱冠处之最大計算沉落尺寸，以厘米或毫米为单位；

δ_x ——为 x 点之沉落尺寸，以厘米或毫米为单位。

这一事实說明干砌石拱桥拱架的預留拱度，可以应用一般的方法进行計算。

五、施工中的一些体会

实践証明，干砌块石拱，不但适用于涵洞，而且在基础良好，桥台稳固，合理施工的条件下，适用于跨径10米、8米及5米的中小型桥。

1/2、1/3.5及1/4拱度的石拱桥，应用干砌技术，可以得到同等程度的滿意結果。

我們初步認為，从理論和施工工艺两个方面出发，干砌石拱同样适用于多孔連續式、跨径在15米以上的中型桥。

像本文所介紹的以木楔加力的土方法，在我們实践范围内，从拱拱的稳定程度和其沉落情况来看，已經得到相当效果。

从而証明，在缺乏油压千斤頂等設備时，“加力”方法是值得广泛运用的。

事实說明，运用“加力”方法进行合攏，并在合攏后进行竖縫嵌石的調整，是干砌石拱必不可少的两道工序。凡是沒有采取有效的措施，沒有严肃的执行加力合攏等等工序的拱桥，其稳定程度是不够的。

我們根据实际施工情况，認為經過加力和調整嵌縫后的两个相隣的拱块，至少可有20%以上的接触面。和白灰砂浆及低标号水泥砂浆浆砌拱体作比較，若干砌拱的厚度与浆砌拱的厚度相等时，即有同等的强度。

与一般的砌拱工艺相同，干砌拱的支架也要預留拱度。其計算方法可以參攷人民鐵道出版社出版的Я.С.法恩著“石桥及混凝土桥計算例題”一書。

干砌石拱，由于土法加力尚不能做到完全消除拱块之間的因非弹性压缩而产生的沉落，所以，在計算的总沉落之外，还应该加計一部份非弹性压缩的沉落。在沒有确切資料可作計算根据之前，我們建議可按其他原因所造成之計算沉落总量加計20%。在我們所做的五个桥中，天佛崖及鷄窩子两桥砌工比較好（天佛崖又比鷄窩子桥好一些），这两个桥的实际沉落（拱冠的）可以作为实践參攷。

为了节约人工，干砌块石拱的拱石除了拱脸之外，不必打成扇形。近于扇形的上大下小的石料固然好，上下一般厚，甚至将大面朝下用也未尝不可。但是大面朝下的石料要儘量用在拱脚附近；愈到中間愈要选用近于上大下小和上下一般厚的石料在大面朝下使用时，嵌縫中的石片更要注意嵌好、挤紧，以增进摩阻，并使上口厚度与下口厚度相差不宜太多，以免上口接縫太大；根据实际情况，我們初步認為以不超过1~1.5厘米为宜。

拱石的厚度（平行拱环压力綫或軸綫的尺寸）不宜过大，太大了則拱背上的砌縫合不严，亦不宜过小，太小了抗折力不足，容易压裂。在我們的实践中，除拱冠石尺寸在28~47厘米之間外，一般