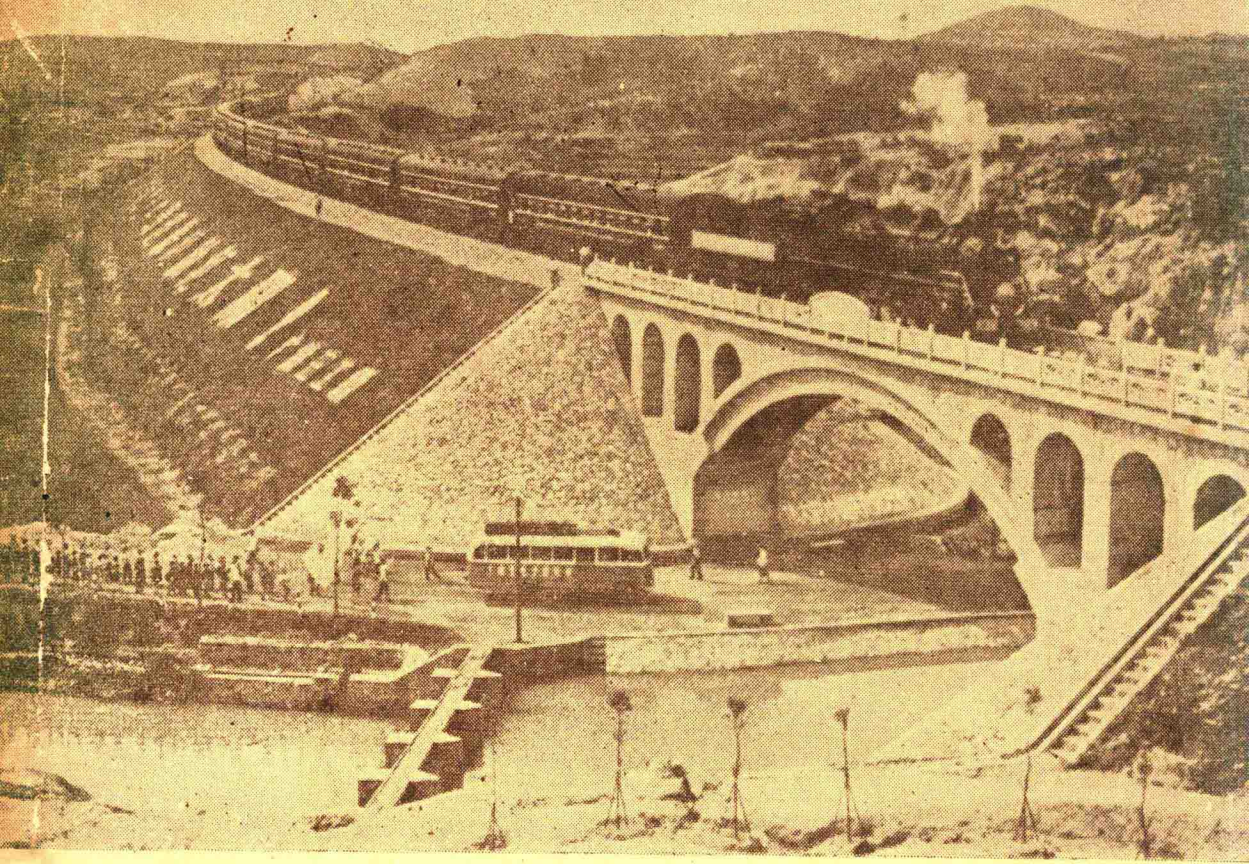


(内部资料)

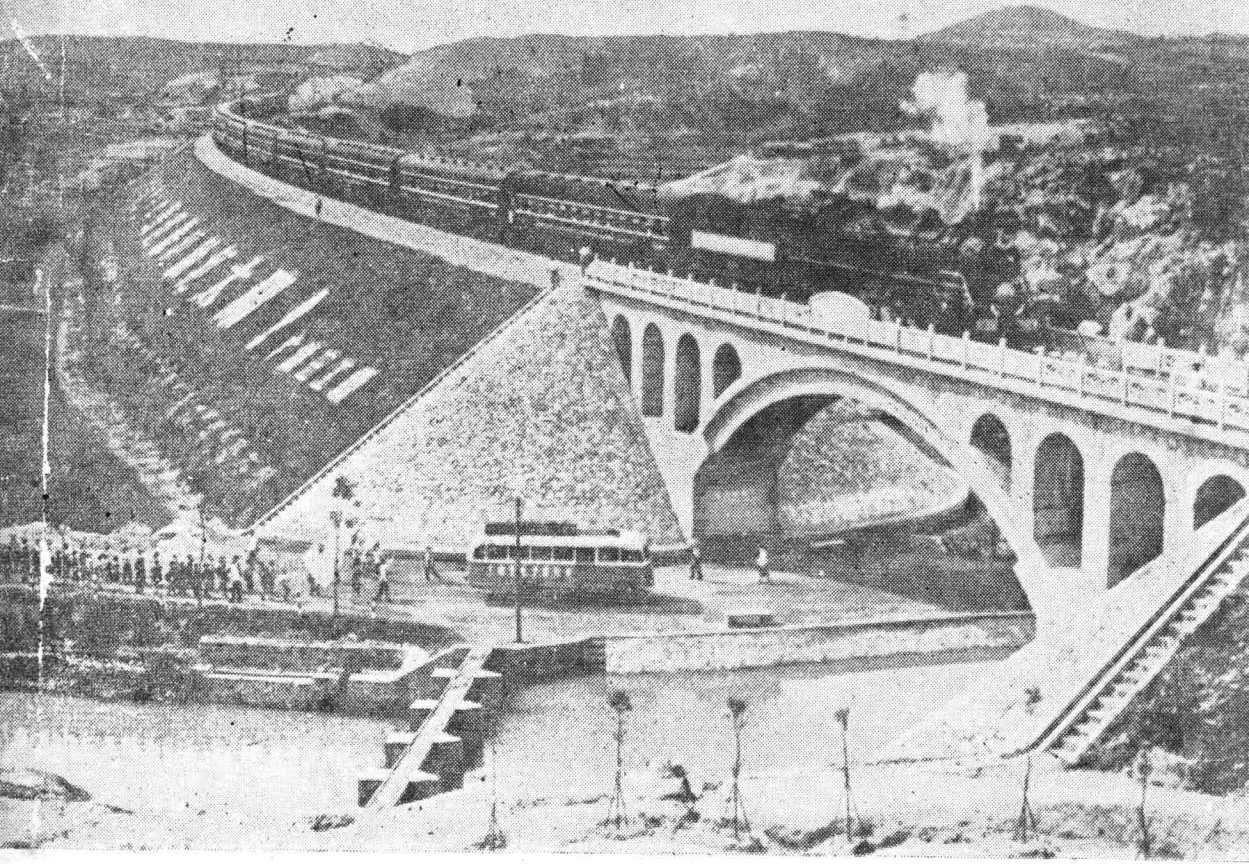


双曲拱桥计算实例

湖南省交通邮政局陆运公司测设大队

1970.12.

(内部资料)



双曲拱桥计算实例

湖南省交通邮政局陆运公司测设大队

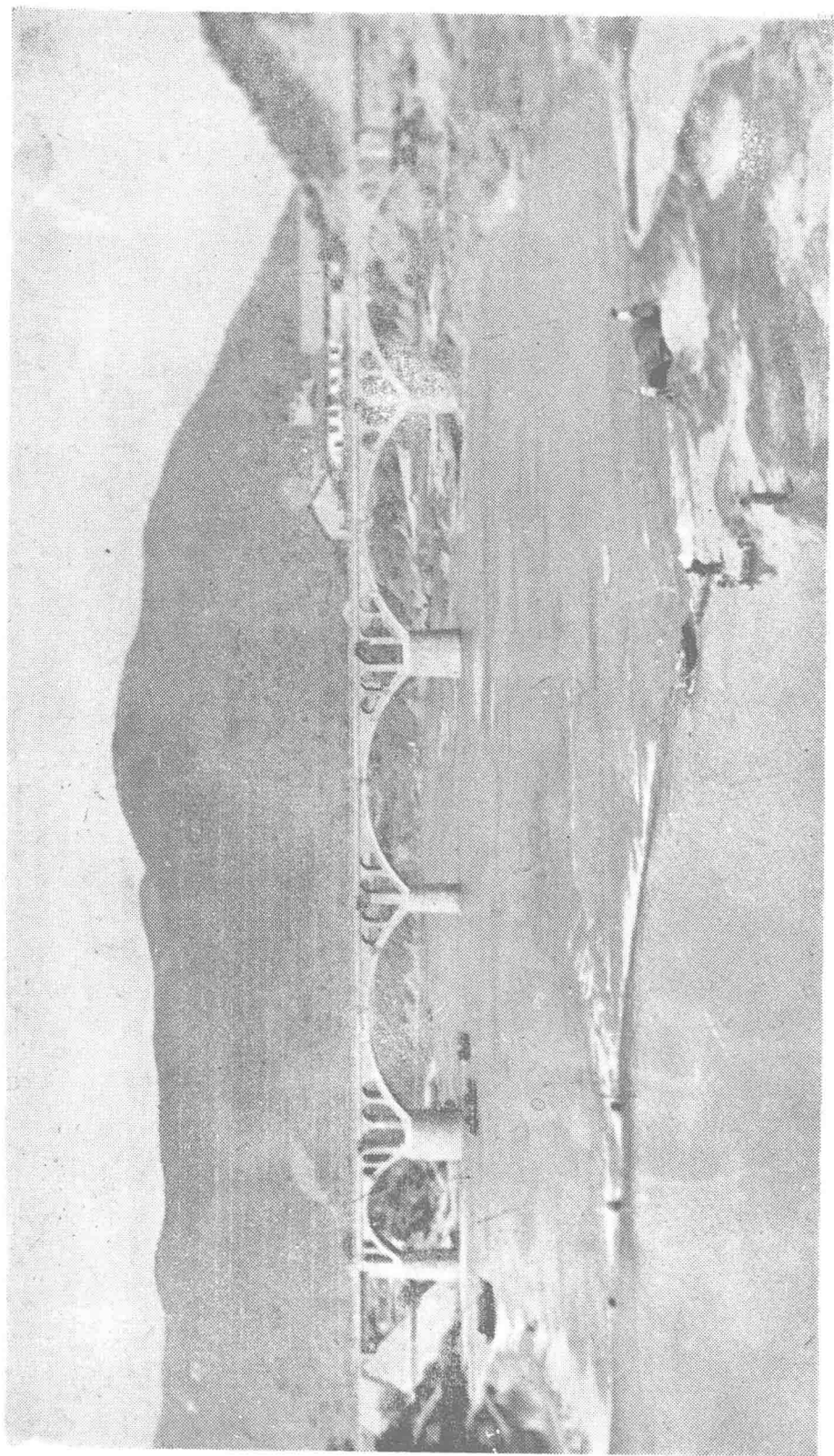
1970.12.

毛主席語录

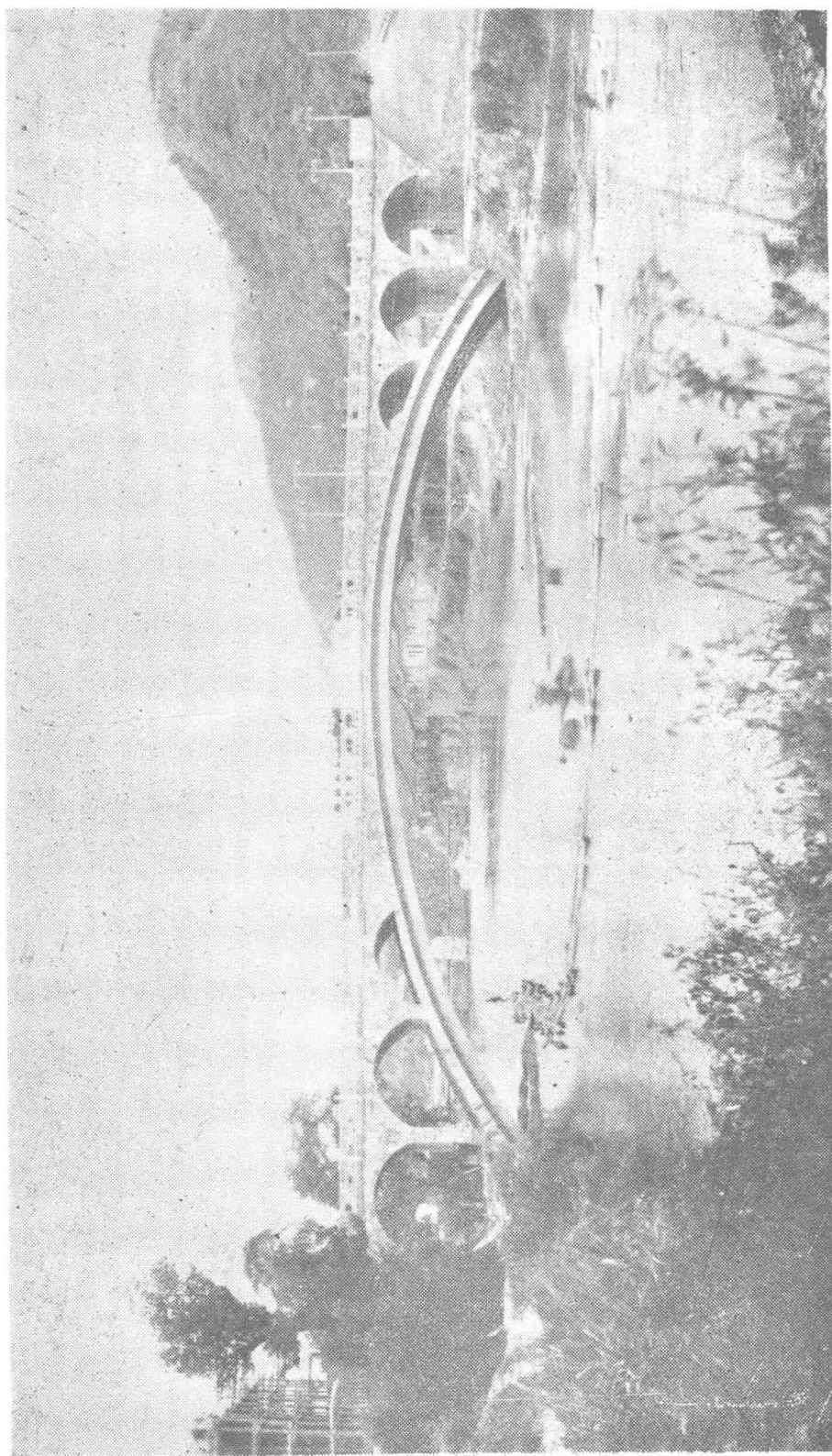
人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结經驗，有所发现，有所发明，有所創造，有所前进。

我們不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我們必須打破常規，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期內，把我国建設成为一个社会主义的現代化的强国。

需要把我們工作中的主要經驗，包括成功的經驗和錯誤的經驗，加以总结，使那些有益的經驗得到推广，而从那些錯誤的經驗中取得教訓。

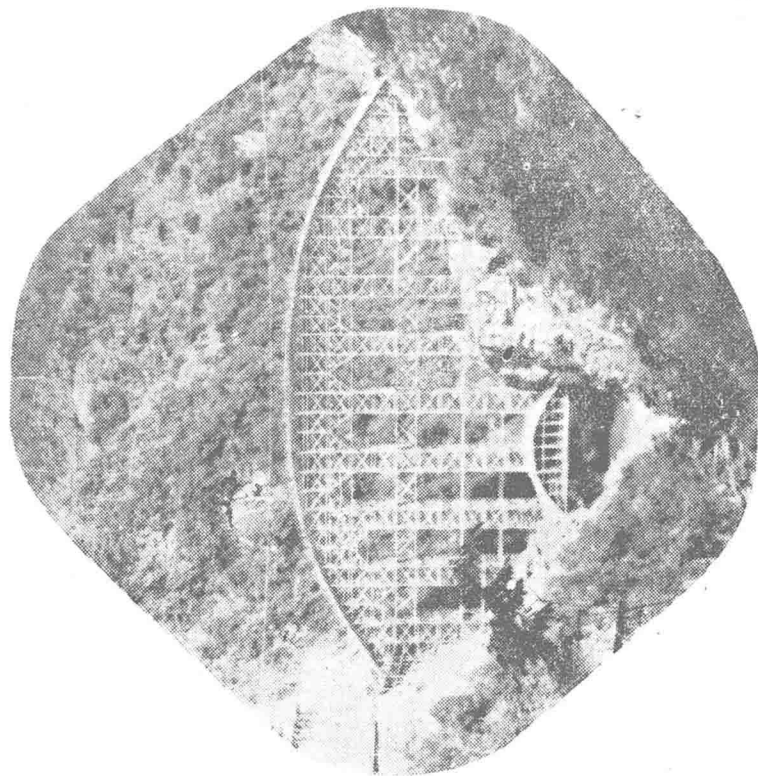
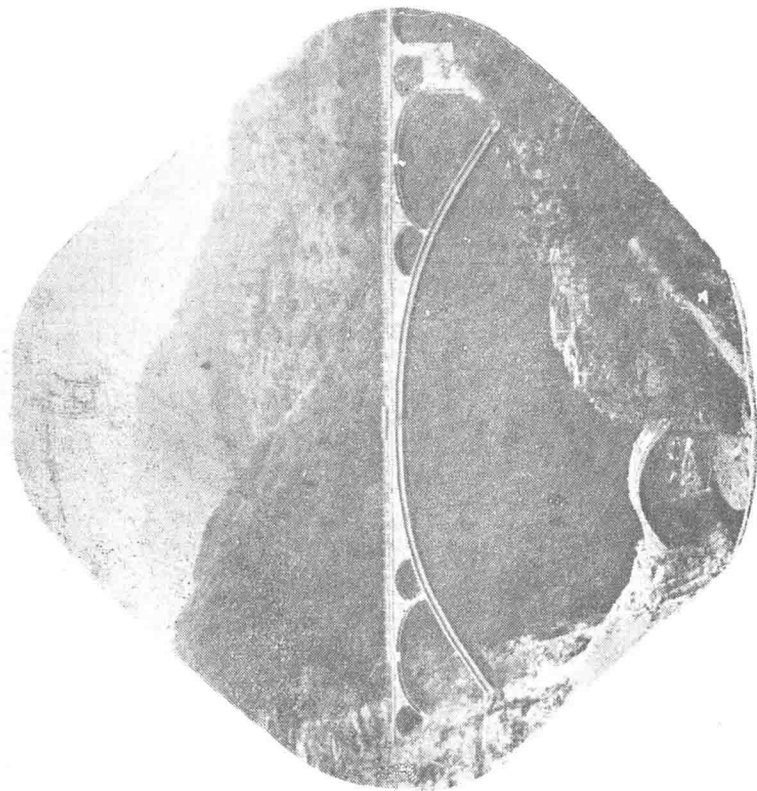


1966年初，我省在醴洲铁路工程中，首先学习和引进了双曲拱桥。本桥系在原片石拱桥墩台上改建的，主孔为四孔净跨30米窄轨铁路双曲拱桥。拱肋采用二段预制，缆索吊装施工，拱版系小石子混凝土砌片石结构，是我省第一批建成的双曲拱桥之一。
(1966.4建成)



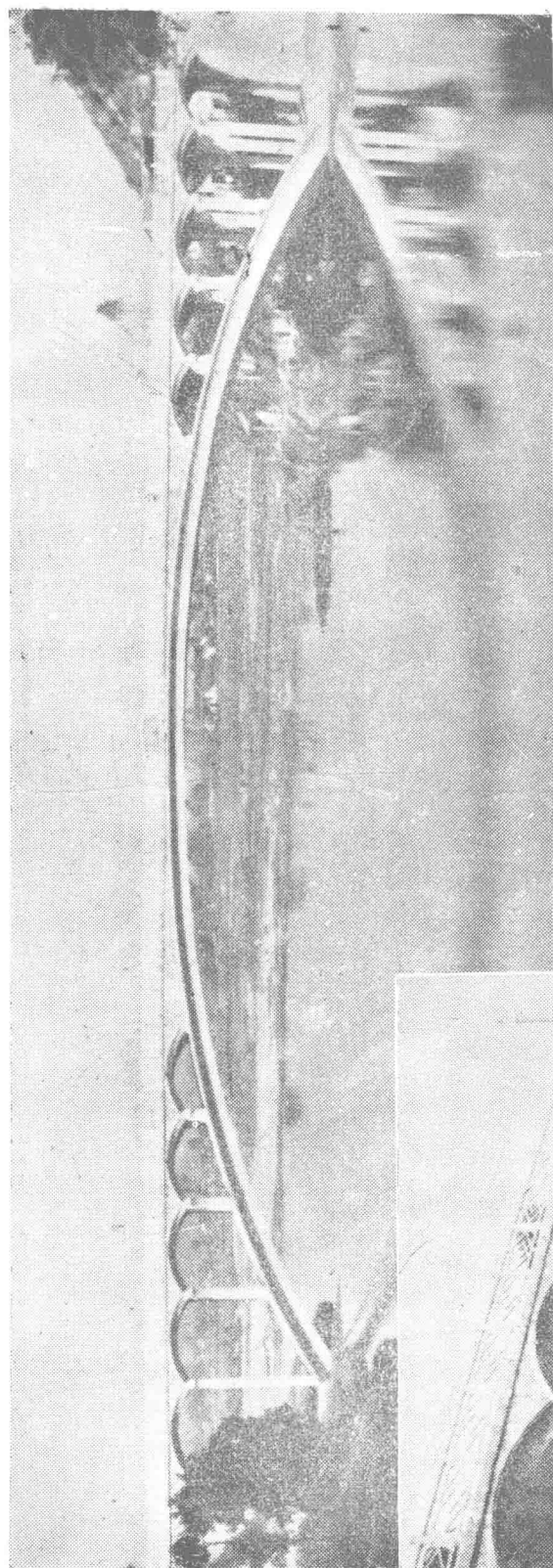
这是具有光荣革命传统的大围山老革命根据地人民，自力更生、奋发图强，仅用四个月时间胜利建成的（净跨60米）。平均每米桥梁造价不到一千元。在主拱圈结构中，首次采用半悬拱波和变厚片石拱版，是我省修建大跨径双曲拱桥的开始。

(1966.12建成)



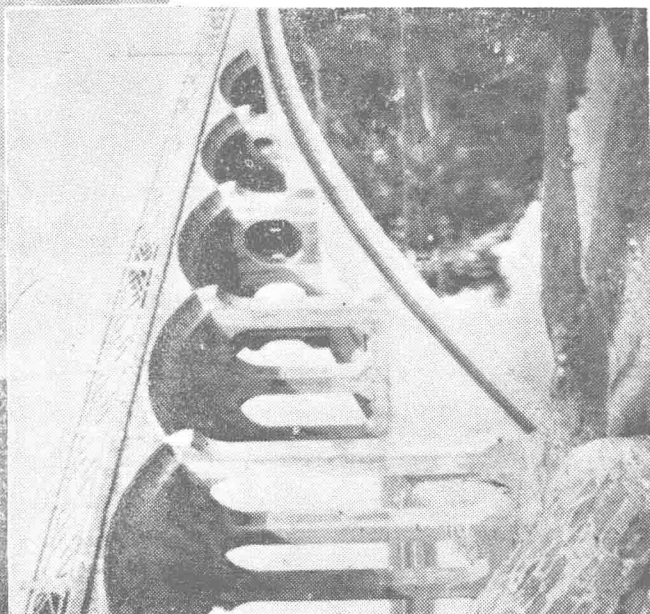
本桥飞架高山峡谷，雄伟，壮丽。净跨径108米，主拱圈截面设计打破常规，采用了等截面（高度160厘米）六次抛物线拱轴。拱架64米高，结构简单，立柱大胆采用对接型式，系工人设计制作。本桥是我省向日葵式双曲拱桥的新创造。

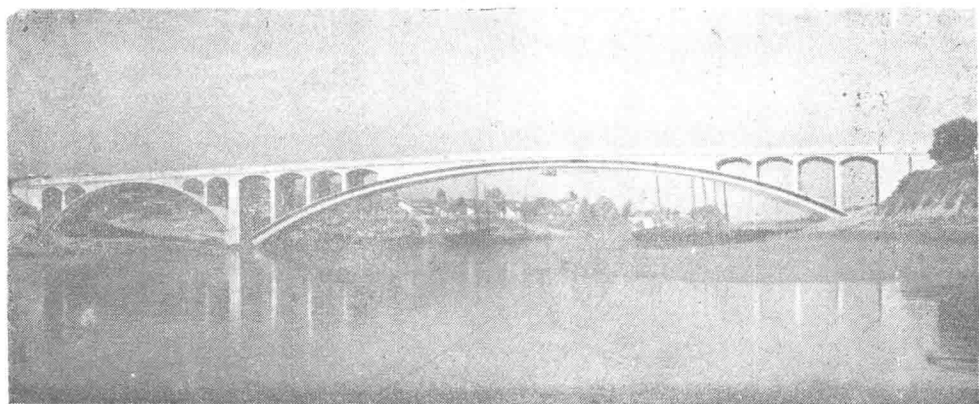
(1967.12建成)



净跨径90米双曲拱桥。拱上立柱轻巧美观。桥台采用八根100厘米钻孔灌注桩基础与U形桥台组合结构，打破了国内外特大跨径拱桥不能用垂直桩的迷信。使我省双曲拱桥结构更为轻型化起了重要的促进作用。

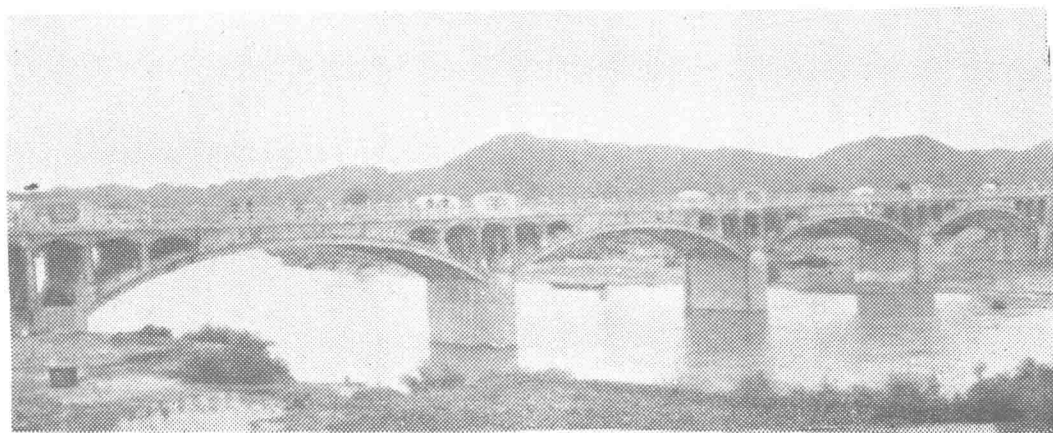
(1968.5 建成)





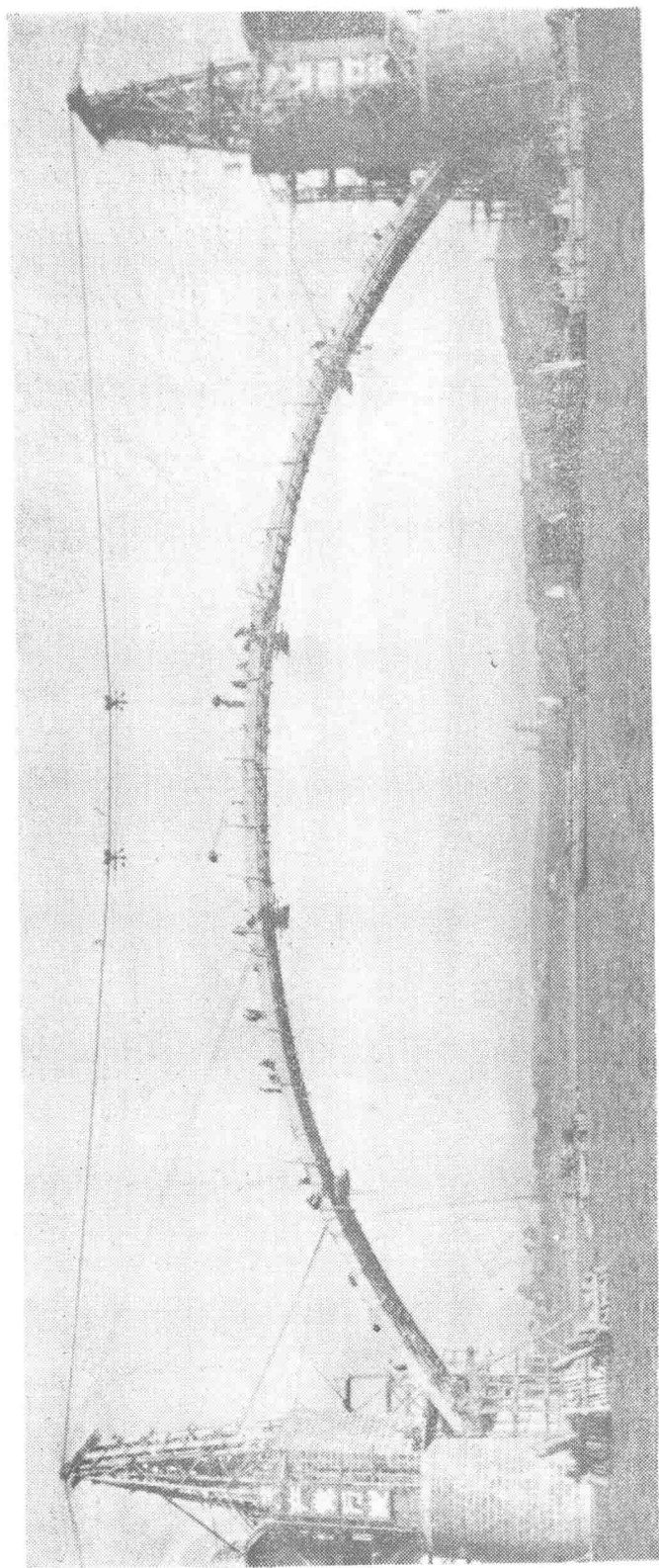
伟大领袖毛主席家乡湘潭县中石潭区的广大贫下中农，突出政治，发扬“**独立自主，自力更生**”的革命精神，大胆地实践与严格的科学态度相结合，群策群力，成功地修建了这座我省目前最大跨径的双曲拱桥(净跨径 110 米)，用生动的事实再一次证实了“**卑贱者最聪明！高贵者最愚蠢**”这个伟大真理。

(1968.7建成)



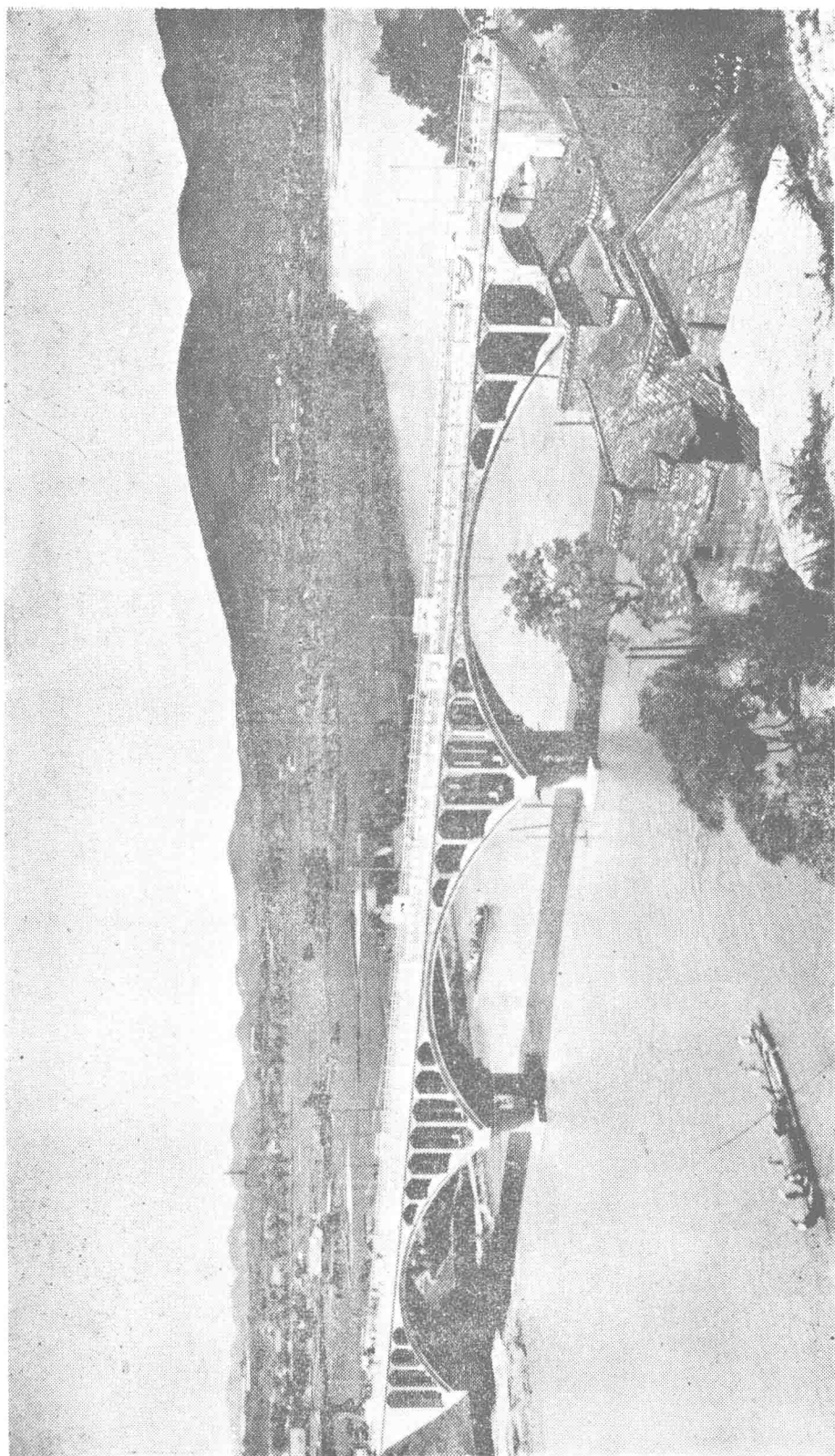
四孔净跨 30.75 米。在拱肋施工中创造了我省多孔无支架施工新工艺，为双曲拱桥进一步节省木材、解决水深急流和汛期的施工困难指出了方向，也为桥梁工厂预制化的发展提供了条件。

(1969.3建成)

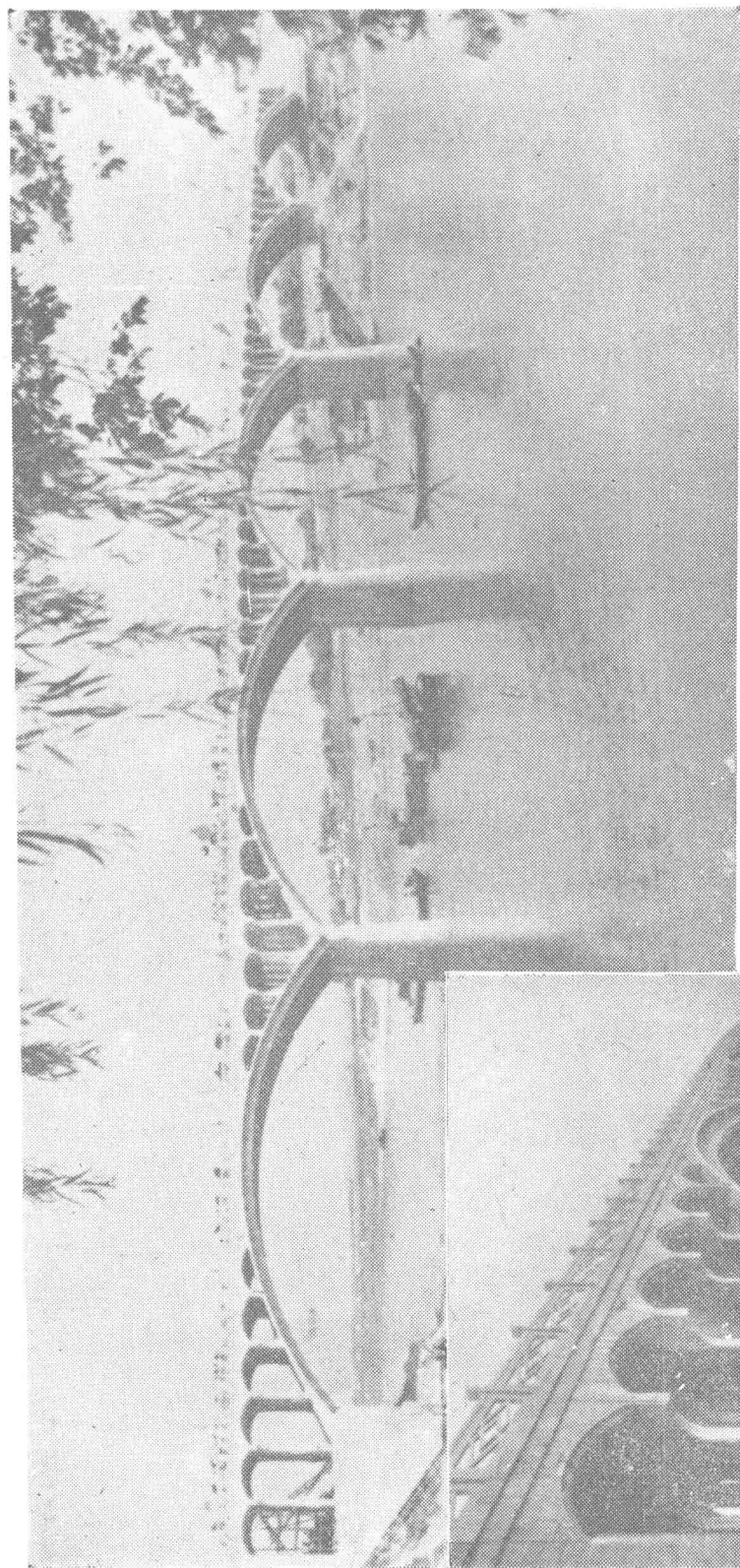


中孔净跨78米等截面悬链线双曲拱桥。经过反复实践，终于实现了拱肋五段无支架吊装，突破了大跨径双曲拱桥拱肋无支架施工难关，把双曲拱桥施工工艺提高到一个新水平。

(1970.1建成)

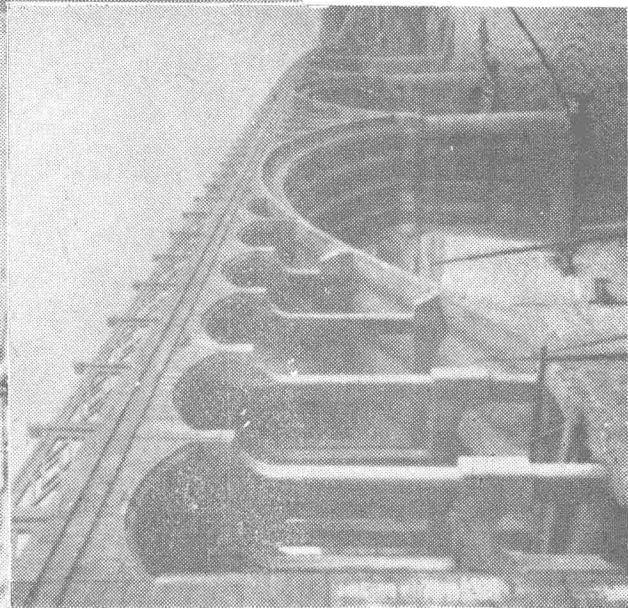


三孔净跨42米双曲拱桥。拱肋及拱上构造采用预制无支架施工。轻型双柱式墩和挖空桥台均系钻孔灌注桩深桩基础。墩、拱按连拱理论设计，结构简单、轻型，材料节省。是我省在软弱地基上修建双曲拱桥采用钻孔灌注桩基础的又一范例。（1970.5建成）



五孔净跨40米双曲拱桥。在修建过程中，广大民兵“破除迷信，解放思想”，敢想、敢干，创造和发展了井柱、木套筒、沉井等多种基础型式及无筋悬臂墩、上形拱肋和主索跨径230米的拱肋无支架施工，对桥梁的上、下部构造都有重大革新，是我省一座较为新型的双曲拱桥。

(1970.7建成)



前 言

在毛泽东思想的光辉照耀下，在伟大领袖毛主席“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的方针指引下，通过伟大的无产阶级文化大革命的洗礼，我国广大建桥工人把我国桥梁建设事业推向了一个更新更高的水平。双曲拱桥就是一种具有节约材料、劳力，且施工工艺简便、速度快、造价低、桥型美和具有独特民族风格的新型桥梁结构。

我省自一九六六年广泛采用双曲拱桥的桥型结构形式以来，不仅认真学习了各兄弟省的先进经验，并且遵循伟大领袖毛主席“有所发现，有所发明，有所创造，有所前进”的伟大教导，使这种结构形式各方面有所发展和提高，跨径由五米发展到一百一十米，拱肋由满堂支架施工发展到无支架吊装施工，拱版由平顶形发展到波形，拱波净跨由零点六三米增至二米，拱肋截面有矩形、槽形、倒丁形等多种形式等等，几年来实践证明，双曲拱桥使用效果良好。

但是，由于我们认识上的局限性和思想革命化程度不高，还没有完全掌握双曲拱的客观规律性，因此双曲拱桥在设计理论上赶不上新的结构形式的发展需要，不能满足工农业的生产和交通事业日益增长的需要。例如：在计算方面采用版拱设计方法，这样假设的前提，我们认为有些不符合客观实践情况的地方，计算出来的断面往往还不够经济合理，也有个别尺寸，通过实际感到不符客观要求。因此需要我们作进一步努力，使双曲拱桥在理论上和实践上更加完善起来。所以我们这次出版的“双曲拱桥计算实例”（仅上部构造部分），一方面仅供同志们参考，另一方面还需请同志们从各方面提出宝贵的意见，以一用二批三改的观点，创造出新经验、新方法、新理论，使双曲拱桥得到更进一步的推广和发展，为把我国桥梁科学技术革命进行到底，而共同努力。

本“计算实例”肯定还存在不少的缺点和错误，我们诚恳地希望同志们提出宝贵的意见，以便改进今后的工作。

目 录

例一 等截面圆弧空腹双曲拱桥 (公路桥净跨径18米)	(1)
一、设计资料	(1)
二、主拱圈截面面积、重心、惯矩计算	(1—3)
三、拱内力影响线计算	(3—5)
四、恒载内力计算	(5—6)
五、活载内力计算	(6—8)
六、应力验算	(8—10)
七、拱圈剪应力验算	(10—12)
八、拱肋验算	(12—18)
例二 变截面 (变拱肋) 悬链线空腹双曲拱桥 (公路桥净跨径90米)	(19)
一、设计资料	(19)
二、弹性模量	(19)
三、截面计算	(19—25)
四、拱轴系数确定	(27—30)
五、恒载内力计算	(31—32)
六、汽车活载应力计算	(33—38)
七、温度应力计算	(39)
八、混凝土收缩应力计算	(40)
九、拱脚相对水平位移引起主拱圈应力计算	(41)
十、应力总表	(42)
例三 变截面 (变拱肋) 悬链线空腹双曲拱桥 (公路桥净跨径 110 米)	(43)
一、设计资料	(43)
二、弹性模量比	(43)
三、拱顶截面几何要素计算	(44—47)
四、拱轴系数确定	(49—56)
五、恒载应力计算	(56—58)
六、活载 (汽—13) 应力计算	(58—63)

七、温度及混凝土收缩应力计算	(64)
八、应力总表	(65)
例四 等截面悬链线空腹双曲拱桥 (公路桥无支架吊装, 净跨径 30.75 米)	(66)
第一部分 主拱圈计算	
一、主拱圈断面几何性质	(66—67)
二、恒载计算	(68—74)
三、温度、活载内力计算	(74—77)
四、应力总表	(78)
第二部分 吊装计算	
第一节 拱肋安装	
一、拱肋分段	(79—81)
二、拱肋吊运	(82—85)
三、边段拱肋悬挂	(86—91)
四、拱肋合拢	(92—97)
五、裸肋强度与稳定	(97—102)
第二节 裸拱肋施工加载验算	
一、对称加载内力影响线计算	(102—105)
二、拱波加载计载	(105—110)
三、拱圈施工	(110—115)
例五 等截面悬链线空腹双曲拱桥 (公路桥无支架吊装, 净跨径 78.40 米)	(116)
施工加载计算部分	
一、计算资料	(116)
二、第一阶段加载计算——在裸肋上进行拱波加载	(116—132)
三、第二阶段加载计算——在裸肋及已合拢的拱波上进行填平层加载	(132—134)
四、第三阶段加载计算——裸拱在其自重及横梁作用下的内力计算	(134—140)
五、拱波加载第一阶段时的拱顶挠度计算	(140—142)
例六 等截面悬链线空腹双曲拱桥 (窄轨铁路桥净跨径 30 米)	(143)
一、设计资料	(143—144)
二、主拱圈截面面积、重心、惯性矩计算	(144—147)
三、确定拱轴系数	(147—150)
四、主拱圈整体截面强度计算	(150—160)
五、主拱圈稳定验算	(160—161)

六、主拱圈裸拱强度验算	(161—162)
七、拱肋吊装应力计算	(162—164)
八、拱肋稳定验算	(164—165)
九、拱肋承受拱波强度验算	(165—167)
例七 等截面悬链线空腹双曲拱桥 (标准轨铁路桥跨径24米)	(168)

两铰双曲拱计算

一、设计资料	(168)
二、主拱圈截面面积、重心、惯矩计算	(168—169)
三、拱轴系数 m 的确定及恒载内力计算	(169—170)
四、活载内力影响线及内力的确定	(170—173)
五、温度变化及混凝土收缩影响的计算	(173—174)
六、制动力影响计算	(174—175)
七、离心力计算	(175—177)
八、截面应力汇总表	(177—178)
九、截面应力调整	(179—181)
十、拱肋钢筋设计	(181—183)
十一、组合截面整体性验算	(183—184)
十二、拱体稳定性验算	(184)
十三、拱铰设计	(184—187)
十四、两铰拱性能分析	(187—188)

附录：双曲拱桥公路桥部分上部构造设计资料汇总表

封面图案说明：

在史无前例的无产阶级文化大革命中，广大工人、贫下中农、红卫兵打破了框框本本，在通往红太阳升起的地方——韶山铁路上，修建了我国第一座准轨铁路的双曲拱桥（跨径24米）。这是毛主席革命科技路线的伟大胜利，是伟大的无产阶级文化大革命又一丰硕成果。

(1968.12 建成)

例一 等截面圆弧空腹双曲拱桥(净跨 18 米)

一、设计资料

净跨径: $L_0 = 18$ 米

拱矢度: $f_0/L_0 = \frac{1}{4}$

净宽: 净-4.5米单车道

设计载重: 汽—10级; 拖—30级

空腹式拱上构造, 拱上小拱 $L_0 = 1.8$ 米

主拱圈采用等截面圆弧曲线双曲拱, 拱圈截面由三个连续的浆砌片石预制拱波支承在四根钢筋混凝土拱肋上构成。

前倾式轻型桥台, 前倾坡率 5:1, 全部石砌圬工, 奠基在紧密卵砾石层上。

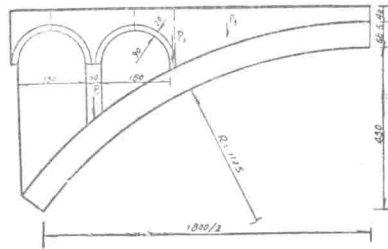
恒载单位体积重量:

拱顶填料: $\gamma = 2.0$ 吨/立方米

石砌圬工: $\gamma = 2.25$ 吨/立方米

钢筋混凝土: $\gamma = 2.50$ 吨/立方米

恒载及活载均按无铰拱计算。



二、主拱圈截面面积、重心、惯矩计算

基本数据

拱波: 75号小石子混凝土砌片石预制块。

$$L_0' = 1.26 \text{ 米}; \quad \frac{f_0'}{L_0'} = \frac{1}{4}; \quad f_0' = 0.315 \text{ 米}; \quad d_0' = 0.15 \text{ 米};$$

$$R_0 = 0.625L_0' = 0.625 \times 1.26 = 0.7875 \text{ 米}$$

拱肋: 200号钢筋混凝土

$$L_0 = 18 \text{ 米}; \quad \frac{f_0}{L_0} = \frac{1}{4}; \quad f_0 = 4.50 \text{ 米}$$

取截面尺寸为: 18×22厘米, 上下各配置 2 ϕ 16 钢筋。

拱肋间距: $1.26 + 0.18 = 1.44$ 米

截面全高: 68.50 厘米

截面尺寸如图所示。

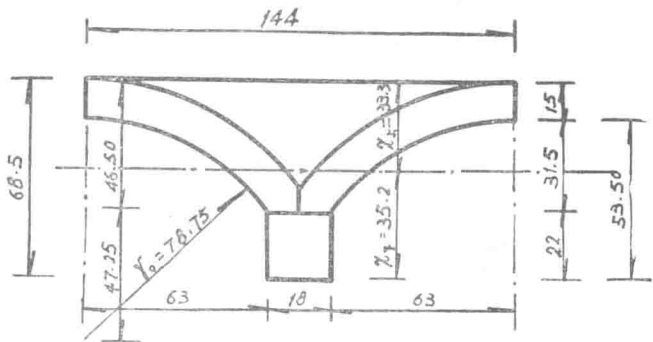
拱内弧半径: $R = 0.625 \times 18$
 $= 11.25$ 米

圆心角: $\varphi_k = 0.9273$ (弧度)

$$\sin \varphi_k = 0.800$$

$$\cos \varphi_k = 0.600$$

弹性模量 E :



75号小石子混凝土砌片石预制块拱波砌体 $E_1 = 35000$ 公斤/平方厘米,
 200号钢筋混凝土拱肋 $E_2 = 2.1 \times 10^5$ 公斤/平方厘米;
 钢筋 $E_3 = 2.1 \times 10^6$ 公斤/平方厘米。

弹性模量比值: $n_1 = \frac{E_2}{E_1} = \frac{2.1 \times 10^5}{35000} = 6$ $n_2 = \frac{E_3}{E_1} = \frac{2.1 \times 10^6}{35000} = 60$

拱圈各部分面积:

拱波与填平层: $F_1 = 1.44 \times 0.465 - [0.9273 \times 0.788^2 - \frac{1}{2}(0.788 - 0.315) \times 1.26]$
 $= 0.392$ 平方米

拱肋: $F_2 = 0.18 \times 0.22 = 0.0396$ 平方米

拱圈换算截面积:

$F_{nP} = F_1 + n_1 F_2 + n_2 F_a = 0.392 + 6 \times 0.0396 + 60 \times 0.000804 = 0.6778$ 平方米

弓形面积: $F' = 0.576 - 0.298 = 0.278$ 平方米

弓形面积重心到圆心距离:

$y = \frac{2}{3} \times \frac{R_o^3 \sin^3 \varphi_o}{F'} = \frac{2}{3} \times \frac{0.788^3 \times 0.80^3}{0.278} = 0.601$ 米

弓形面积重心到假定轴(拱肋下边缘)距离: $y_1 = 0.601 - (0.788 - 0.535) = 0.348$ 米
 全部截面面积对假定轴的换算静面距:

$S_{nP} = (0.2376 + 0.0482) \times 0.11 + 0.67(\frac{1}{2} \times 0.465 + 0.22) - 0.278 \times 0.348$
 $= 0.2379$ 立方米

截面重心轴至假定轴距离:

$X_{\Gamma} = \frac{S_{nP}}{F_{nP}} = \frac{0.2379}{0.6778} = 0.352$ 米 $X_{\perp} = h - X_{\Gamma} = 0.685 - 0.352 = 0.333$ 米

扇形面积重心至圆心距离: $y = 2R_o \frac{\sin \varphi_o}{3\varphi_o} = 2 \times 0.788 \times \frac{0.80}{3 \times 0.9273} = 0.453$ 米

扇形面积重心至截面重心轴距离: $y = 0.788 + 0.150 - 0.453 - 0.333 = 0.152$ 米

拱波及填平层对截面重心轴的惯矩:

$I_1 = \frac{1}{12} \times 1.44 \times 0.465^3 + 1.44 \times 0.465 \times (\frac{1}{2} \times 0.465 - 0.333)^2 - [\frac{(2 \times 0.7875)^4}{64}$
 $\times (0.9273 + 0.60 \times 0.80 - \frac{16 \times 0.64}{9 \times 0.9273}) + 0.576 \times 0.152^2] + [\frac{1}{36} \times 1.26 \times 0.473^3$
 $+ 0.298(\frac{0.473}{3} + 0.352 - 0.22)^2] = 0.0168$ 米⁴

$I_2 = 6 \times \frac{1}{12} \times 0.18 \times 0.22^3 + 6 \times 0.18 \times 0.22 \times (0.352 - 0.110)^2 + 60 \times 0.000804$
 $\times (0.352 - 0.110)^2 = 0.0177$ 米⁴

$I = I_1 + I_2 = 0.0168 + 0.0177 = 0.0345$ 米⁴